

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Hornicko – geologická fakulta

Disertační práce doktorandského studia

**Komplexní posouzení horninového prostředí jako zdroje  
nizkopotenciální tepelné energie**

Autor

**Ing. Antonín Kunz**

Školitel

**Prof. Ing. Petr Bujok, CSc.**

Ostrava, srpen 2009

## Abstrakt

Práce je zaměřena na analýzu kritérií, která jsou rozhodující pro posouzení horninového prostředí jako zdroje nízkopotenciální tepelné energie.

Teoretická část práce se zabývá původem zemského tepla ve svrchní části zemské kůry a jeho využitím prostřednictvím tepelných čerpadel. Zahrnuje technický popis realizace účelových vrtů, sloužících jako primární kolektor zemského tepla. Jsou zde uvedeny způsoby dimenzování vrtaných kolektorů včetně popisu provádění testů teplotní odezvy. Tato část práce rovněž obsahuje přehled typů podzemních zásobníků tepla a praktický příklad technicky zajímavé instalace. Součástí je analýza právního prostředí, které je pro realizaci vrtaných kolektorů závazné.

Praktická část zahrnuje případovou studii instalace největšího vrtaného kolektoru v České republice při výstavbě nového objektu Auly a Centra informačních technologií (dále jen Auly + CIT) na VŠB - Technické univerzitě Ostrava. Na příkladu jsou zde detailně demonstrovány všechny rozhodující projekční a realizační fáze výstavby primárního kolektoru. Nedílnou součástí instalace je tzv. velký výzkumný polygon, který slouží k měření teplot v horninovém masivu. Jsou zde analyzovány a vyhodnoceny první výsledky měření a jsou navržena praktická opatření vedoucí ke zvýšení úrovně využití získaných dat. V závěru je schematicky uveden stručný návrh komplexní metodiky postupu při posuzování využití horninového prostředí jako zdroje tepla. V návrhu jsou obsaženy zásady, vyplývající z teoretické i praktické části práce.

**Klíčová slova:** nízkopotenciální energie, obnovitelné zdroje, tepelné čerpadlo, vrt, primární vrtaný kolektor, dimenzování vrtu, test teplotní odezvy, podzemní zásobník energie, Aula+CIT

## **Obsah**

<b>1. Cíle práce</b>	<b>1</b>
<b>2. Úvod</b>	<b>2</b>
<b>3. Zdroje energie Země</b>	<b>4</b>
3.1. Zemské těleso	4
3.2. Vnitřní zdroje	5
3.3. Vnější zdroje	9
3.4. Energetická bilance Země	11
3.4.1. Fyzikální principy – vnější zdroje	11
3.4.2. Fyzikální principy – vnitřní zdroje	14
3.4.3. Energetická bilance zemského povrchu	15
3.4.4. Teorie	17
3.5. Shrnutí	18
<b>4. Tepelná čerpadla</b>	<b>20</b>
4.1. Nízkopotenciální energie	20
4.2. Princip tepelného čerpadla	21
4.3. Systémy tepelných čerpadel	24
4.4. Geotermální tepelná čerpadla	26
4.5. Vývoj trhu tepelných čerpadel v České republice a v Evropě	27
4.6. Ekonomika tepelných čerpadel	30
4.6.1. Rozhodující faktory pro volbu vytápění	30
4.6.2. Porovnání nákladů na topení	32
<b>5. Vrt jako primární kolektor tepla</b>	<b>35</b>
5.1. Parametry vrtaného kolektoru	35
5.2. Materiál, konstrukce a rozměry trubek primárního kolektoru	35
5.3. Realizace vývrtu	38
5.4. Zapouštění HDPE potrubí	40
5.5. Injektáž vrtu	41
5.6. Kontrola kvality	43

<b>6. Dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla</b>	45
6.1. Základní požadavky	45
6.2. Fyzikální základy	46
6.3. Ovlivňující faktory	49
6.4. Postupy při dimenzování vrtů	50
6.5. Test teplotní odezvy	52
6.5.1. Historie a současný stav	52
6.5.2. Popis zařízení	53
6.5.3. Vyhodnocování dat	56
6.5.4. Současný stav TRT	58
6.6. Počítačové programy pro projektování primárních kolektorů	58
6.6.1. Earth Energy Designer 2	59
6.6.2. Ground Loop Design	62
<b>7. Podzemní zásobníky tepelné energie</b>	63
7.1. Účel podzemních zásobníků tepelné energie	63
7.2. Typy podzemních zásobníků tepelné energie	63
7.3. Přehled zkušenosti z evropských zemí	68
7.4. Příklad „Drake Landing Solar Community“	69
7.5. Shrnutí	71
<b>8. Právní rámec povolování vrtů pro tepelná čerpadla</b>	72
8.1. Úvod	72
8.2. Právní náhledy na vrty pro tepelná čerpadla	72
8.2.1. Vrt podle stavebních předpisů	73
8.2.2. Vrt podle vodohospodářských předpisů	74
8.2.3. Vrt dle geologických předpisů	75
8.2.4. Vrt dle báňských předpisů	76
8.3. Procesy, rizika a střety zájmů	76
8.3.1. Projektová příprava realizace kolektoru	76
8.3.2. Realizační příprava	78
8.3.3. Realizace vrtu	79



8.4. Některé související evropské normy	80
8.4.1. VDI 4640 Thermal use of underground – Německo	81
8.4.2. Značka kvality pro geotermální sondy – Švýcarsko	82
8.4.3. Shrnutí	83
8.5. Závěr	84
 9. Příklad instalace VŠB TU Ostrava	 85
9.1. Úvod	85
9.2. Projektové zadání a technické řešení zdroje tepla	86
9.3. Dimenzování primárního okruhu	88
9.3.1. Posouzení přírodních podmínek lokality	89
9.3.2. Hydrogeologické a geologické poměry	90
9.3.3. Zkušební vrty a testy teplotní odezvy	92
9.3.4. Výpočet pomocí EED 2	105
9.3.5. Projekt primárního kolektoru	106
9.4. Realizace primárního kolektoru	108
9.5. Měřicí polygon	111
9.6. Poznatky z provozu měřicího polygonu	115
 10. Komplexní metodika	 124
10.1. Rozhodující hlediska	124
10.2. Přehled komplexní metodiky	126
 11. Závěr	 127
 12. Seznam použité literatury	 129
 13. Seznam obrázků	 136
 14 Seznam grafů	 138
 15. Seznam tabulek	 139
 16. Seznam příloh	 140
 17. Seznam použitých jednotek	 141

## 1. Cíle práce

Využívání obnovitelných zdrojů energie je v současné době významnou prioritou. Jedním ze spolehlivých zdrojů obnovitelné energie je teplo horninového prostředí, které je možno prakticky využívat prostřednictvím tepelných čerpadel. Na horniny jako primární zdroje tepla je možno pohlížet z hlediska klimatologického, geologického, provozně-technického, právního a ekonomického.

V disertační práci se zabývám zpracováním teoretických i praktických údajů, postupů a metodik, souvisejících s horninovým prostředím jako zdrojem tepla. Práce vychází z rozboru jednotlivých procesů a logických vazeb mezi nimi.

Hlavním cílem zpracované disertační práce je detailní analýza jednotlivých hledisek a návrh komplexní metodiky posouzení horninového masivu jako zdroje nízkopotenciálního tepla. Aplikace správného postupu je demonstrována na konkrétním příkladu realizace primárního kolektoru pro vytápění objektu Auly+CIT VŠB - Technické university Ostrava. Ověření správnosti je doloženo vyhodnocením dat získaných při provozu kotelny a velkého výzkumného polygonu, který poskytuje údaje o průběhu teplot ve sledovaném horninovém prostředí.

Práce se zabývá teorií o zdrojích nízkopotenciálního tepla v horninovém prostředí ve svrchní části zemské kůry. Dílčím cílem této části je vypracovat přehled jednotlivých zdrojů a na základě přehledu formulovat teorii o jejich původu a vzájemném ovlivňování.

Základní tepelnou vlastností hornin, která charakterizuje jejich skutečnou využitelnost jako zdroje nízkopotenciálního tepla, je měrná tepelná vodivost. V práci je popis metodiky měření tohoto parametru a jsou zde doporučeny způsoby vyhodnocování získaných dat. Celý proces je demonstrován na praktickém příkladě.

Správné dimenzování primárních kolektorů je základní podmínkou úspěšné realizace topného systému. V práci je definována ucelená metodika dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla s ukázkou praktické aplikace. Práce rovněž shrnuje typy podzemních zásobníků energie a současný stav jejich využití. Je zde uveden konkrétní příklad instalace v Kanadě a přehled instalací v Evropě.

Právní rámec provádění vrtů pro tepelná čerpadla není do dnešní doby jednoznačně stanoven. Práce obsahuje analýzu současného stavu a definici optimálního právního režimu pro jejich realizaci.

## 2. Úvod

Obnovitelné zdroje energie se staly nedílnou složkou energetického mixu vyspělých světových ekonomik. V současné době se často diskutují pojmy biomasa, fotovoltaika, energie větru, sluneční energie a geotermální energie. Všestranná podpora obnovitelných zdrojů je dnes nedílnou součástí programů vlád, vývojem nových technologií se zabývají výzkumné instituce, příslušné odbornosti jsou předmětem výuky na významných technických univerzitách. Existují národní a evropské projekty zaměřené na problematiku studia a využívání ekologicky šetrných, netradičních a z pohledu lidské populace nevyčerpatelných zdrojů energie. Výsledkem soustředěného úsilí, který politika masivní podpory přináší, je využívání obnovitelných zdrojů v praktickém životě.

Geotermální energie se z hlediska úrovně svého potenciálu dělí do dvou kategorií. Vysokopotenciální geotermální energii je reprezentována tepelnými zdroji v hlubších partiích zemské kůry, které jsou v hloubkách několika tisíc metrů a mají teploty 100 °C a více. Prakticky se takové zdroje využívají na výrobu tepla pro centrální zásobování nebo se tepelná energie používá přímo na výrobu elektřiny. Vznikají technologické celky, které jsou technicky i investičně velmi náročné.

Nízkopotenciální geotermální energie má jiný charakter. Lze ji relativně snadno čerpat z nejsvrchnější části zemské kůry, hloubkově ji lze získávat z prvních stovek metrů a teploty se pohybují na úrovni prvních desítek stupňů Celsia. Pro jejich využití jsou nezbytná speciální technická zařízení – tepelná čerpadla. Ta jsou schopna přeměnit nízký potenciál prvotního zdroje na prakticky použitelnou úroveň. Výhodou je možnost instalovat zdroje tepla ve velkém rozsahu výkonů, od jednotek kilowatů u rodinných domků do stovek kilowatů u velkých stavebních objektů. Obliba instalací otopných systémů, využívajících teplo svrchních částí zemské kůry, neustále stoupá. Přispívá k tomu i skutečnost, že horninové prostředí může sloužit nejen jako zdroj energie, ale také jako její zásobník. Důsledkem je neustálý růst počtu instalací tepelných čerpadel využívajících nízkopotenciální tepelné energie hornin. Tento trend je možno sledovat v posledních několika letech i v České republice.

V souvislosti s rozšiřováním instalací vznikl logický požadavek na posouzení horninového masivu jako zdroje tepla a na jeho následné efektivní využití. Řešení nové problematiky bylo příčinou vzniku úzké profesní spolupráce mezi obory, které předtím

neměly mnoho společných odborných zájmů. Začala koordinace činností mezi specialisty topenáři, geology, hydrogeology a odborníky na vrtání. Přirozeně tak vznikla nová disciplína, která zahrnuje komplex řešení přírodních, technických a právních aspektů spojených s využíváním horninového prostředí jako zdroje energie. Analýzou jednotlivých hledisek a jejich vzájemnými vazbami se zabývají následující kapitoly.

### 3. Zdroje energie Země

#### 3.1. Zemské těleso

Zemské těleso je součástí energetického systému, který je jak z krátkodobého, tak z dlouhodobého hlediska v relativní energetické rovnováze. Při studiu energetické bilance Země je nutno posuzovat změny vnitřních i vnějších zdrojů energie. V úvahách o vzájemném působení vnějších a vnitřních vlivů má velmi důležité místo zemský povrch a nejsvrchnější část zemské kůry. Zde je místo, kde dochází k vyzařování vnitřní energie Země a kde dopadá a akumuluje se sluneční záření.

Asi před čtyřmi miliardami let měla již Země přibližně stejné rozměry jako dnes. Povrch planety byl tvořen tenkou zemskou kůrou, tvořenou lehkými silikáty, která plavala na globálním tekutém oceánu magmatu. Roztavení umožňovalo chemicko-fyzikální diferenciaci, těžší látky klesaly do středu, lehčí se kumulovaly ve svrchnějších částech planety. Zemské těleso bylo v zásadě separováno na zemské jádro, plášť a kůru. V této době klesla teplota na zemském povrchu pod 100°C, vodní pára kondenzovala na vodu a docházelo postupně k tvorbě hydrosféry. Období tvorby prvních kontinentů, oceánů a atmosféry trvalo přibližně 3,4 miliard let, tj. celé prekambrium. [31]

Přestože v dalších obdobích docházelo k mnoha geologickým i astronomickým dějům, má již Země stavbu, která zajišťuje energetickou rovnováhu, bezpečnou a vyhovující živým organismům. Zemská kůra v povrchových částech zabezpečuje povrch Země před možnými katastrofálními důsledky energetických jevů, které probíhají v zemském plášti a jádru. Proto již nedochází k vulkanické činnosti v rozsahu, který by znamenal zkázu jednotlivých forem života, jenž se postupně na zemském povrchu vyvinul. Litosféra, hydrosféra a atmosféra mají zásadní význam jako prostředí, kde dochází k pohlcování, akumulaci a vyzařování energií, pocházejících z vnějších zdrojů, zejména pak slunečního záření.

Nejvýznamnějším vnitřním zdrojem energie je teplo uvolněné radioaktivním rozpadem prvků obsažených v zemské hmotě. Dále je to gravitační teplo, kinetické teplo vznikající gravitační diferenciací, a původní energie, související se vznikem Země. Vnitřní zdroje měly velký vliv na veškeré dění na Zemi zejména ve starším období jejího vývoje. V současné době je dopad jejich působení na teplotu svrchní části zemské kůry méně významný, a to zejména z důvodu postupného snižování koncentrací radioaktivních prvků, a tím poklesu tepla z radioaktivních přeměn. Vnitřní energie zemského tělesa je

charakterizována tzv. zemským tepelným tokem, který vyjadřuje tepelný výkon zemského tělesa v miliwatech na jeden metr čtvereční sledované plochy.

Vnější stálým zdrojem energie je především sluneční záření, v menší míře pak gravitační síly vesmírných těles. Sluneční záření má víceméně stabilní příkon vyjádřený solární konstantou. Energie Slunce se účastní poměrně složitých procesů a zabezpečuje vyrovnanou tepelnou bilanci na zemském povrchu. Podle některých autorů je v současnosti vliv vnějších zdrojů na tepelné výměny na povrchu Země a v nejsvrchnějších částech zemské kůry převažující. [11, 36]

### 3.2. Vnitřní zdroje

#### Stavba zemského tělesa, hydrosféra a atmosféra

Země je největší terestrickou planetou ve sluneční soustavě, na které je podle posledních vědeckých poznatků potvrzen život. Planeta vznikla před 4,57 miliardami let a krátce po svém vzniku, tj. před 4,53 miliardami let, získala svůj jediný satelit, Měsíc. Střední poloměr Země je 6,5 tisíce kilometrů, zjednodušeně lze říci, že Země má tvar rotačního elipsoidu s malou excentricitou. Skutečný tvar je složitější a pro jeho matematický popis se užívá pojem geoid.

*Tab. 1 Vybrané fyzikální parametry zemského tělesa [31,1]*

#### FYZIKÁLNÍ PARAMETR

#### HODNOTA

Rovníkový průměr (km)	12 756,270
Obvod na rovníku (km)	40 075,004
Povrch celkem (km <sup>2</sup> )	510 065 284,702
Povrch souše (km <sup>2</sup> )	148 939 063,133
Povrch souše (%)	29,2
Povrch moře (km <sup>2</sup> )	361 126 221,569
Povrch moře (%)	70,8
Objem (km <sup>3</sup> )	$1,0832 \times 10^{12}$
Hmotnost (kg)	$5,9736 \times 10^{24}$
Průměrná hustota (kg/m <sup>3</sup> )	5 515
Albedo	0,367

Povrchová teplota minimum (K)	185
Povrchová teplota průměr (K)	287
Povrchová teplota maximum (K)	331

Vnitřek Země je rozdělen na vnější křemíkovou pevnou kůru, vysoce viskózní plášť, tekuté vnější jádro s mnohem menší viskozitou ve srovnání s pláštěm a pevné vnitřní jádro. Tekuté vnější jádro umožňuje existenci slabého magnetického pole díky konvekci jeho elektricky vodivého materiálu.

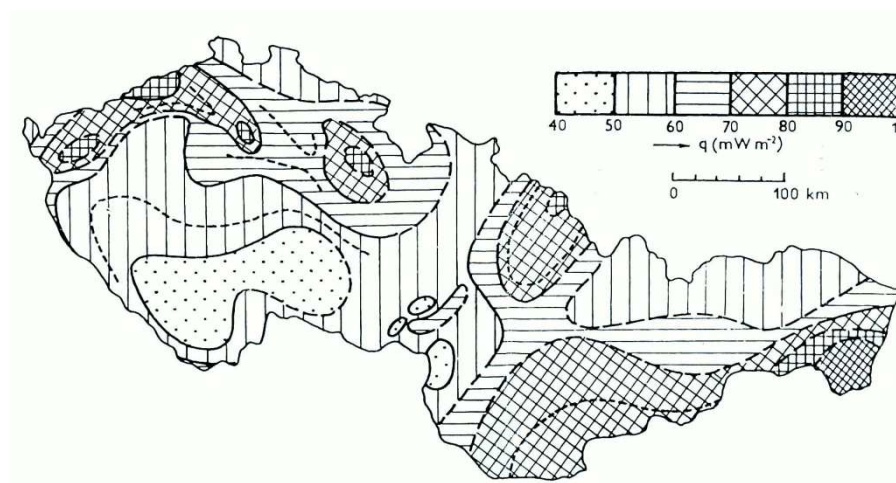
Prostředí koloběhu energie na zemském povrchu je rovněž hydrosféra a atmosféra. Voda na zemském povrchu není stacionární, ale je v neustálém koloběhu, kterého se zúčastňuje přibližně 525 tisíc km<sup>3</sup>. Postupně pak přechází z jednoho skupenství do druhého. Cyklus se během roku několikrát opakuje. Oběh vody je způsoben sluneční energií a zemskou přitažlivostí. Vlivem dopadajícího slunečního tepla se voda ze zemského povrchu vypařuje do atmosféry, kde ji unášejí vzdušné proudy v podobě mraků. Při následném poklesu teploty dojde k tomu, že vodní pára začne kondenzovat v mracích a začne se snášet zpět na zemský povrch v podobě dešťových či sněhových srážek. Převážné množství srážek spadne zpět do oceánu a jen asi 8,3 % dopadne na pevninu. Rozlišujeme dva oběhy: velký (výměna nastává mezi oceánem a pevninou) a malý vodní oběh (výměna probíhá jenom nad oceánem nebo jenom nad pevninou). Zemský plynný obal – atmosféra – je rozdělena podle fyzikálních vlastností na troposféru (vrstva pro tvorbu počasí do výšky 16 km), stratosféru (do výšky od 16 do 50 km), mezosféru (do výšky od 50 do 80 km), termosféru (80 až 140 km) a exosféru nad 140 km. [31] Celková hmotnost atmosféry činí  $5,1 \cdot 10^5$  tun. Rozložení tlaku vzduchu je díky rozdílu hustoty, teploty a proudění v prostoru nerovnoměrné, průměrná standardní hodnota tlaku vzduchu u zemského povrchu je 1013 hPa.

#### **Mezi vnitřní zdroje energie patří:**

- prvotní energie, tzv. zbytkové teplo, související se vznikem Země, někdy označeno rovněž jako teplo „smršťovací“,
- gravitační teplo, související s diferenciací žhavotekuté hmoty a přeměnou potenciální energie na tepelnou při těchto pohybech v zemském plášti a jádru,
- teplo, uvolňované při pohybech litostratigrafických desek, kdy se na tepelnou energii mění energie kinetická,
- teplo, vznikající z radioaktivních přeměn prvků v zemské hmotě,

- teplo pocházející z exotermních chemických reakcí.

Projevy vnitřních zdrojů energie jsou na zemském povrchu viditelné zejména v tektonicky aktivních oblastech jako sopečná činnost a zemětřesení. Jsou na zemském povrchu rozloženy nerovnoměrně a v podstatě kopírují rozmístění vulkánů, průběh zemských tektonik a výskyt zemětřesení. Nedestruktivními projevy jsou například vývěry horkých kapalin a plynů. Rozložení energie na zemském povrchu zobrazují mapy zemského tepelného toku. Pro území bývalého Československa sestavil mapu tepelných toků V. Čermák v roce 1976. [27]



*Obr. 1 Mapa hustot tepelného toku na území bývalého Československa [27]*

### **Globální tepelný tok**

je odhadován na 32 až 44 TW. Podíl tepla z radioaktivních rozpadů zejména prvků U, Th, K v zemském plášti je odhadován od 19 TW do 36 TW. Na zbývající zdroje tedy zůstává až 25 TW.

[1] Následující tabulky přehledně zobrazují měření a odhady globálního tepelného toku.



Tab. 2 Odhady zemského tepelného toku [1]

## TEPELNÝ TOK

TW

Průměr zjištěný měření	32
Zohlednění tektonik	43
Dle modelu chladnoucího poloprostoru	41-44
Hydrotermální vlivy	1
Dočasné změny (plus/mínus)	2

Tab. 3 Radiogenní teplo [1]

## ZDROJ TEPELNÉHO TOKU

TW

Radiační rozpad v kůře a plášti	19-31
Zbytkové radiační teplo ukončených reakcí	5
Radiační teplo celkem	24-36

Tab. 4 Ostatní zdroje (maxima) [1]

## ZDROJ TEPELNÉHO TOKU

TW

Zemské jádro	3-10
Diferenciace hmoty v zemském plášti	1- 2
Tepelné smršťování – zbytkové teplo	1- 2
Zemětřesení způsobená gravitační energií	1- 2
Vyzářená seismická energie	1- 2
Tření vznikající slapovými jevy	1- 2
Celkem	8-20

V současné době je Země ochlazována zářením zemského povrchu, vedením v litosféře z míst o vyšší teplotě na místa o teplotě nižší a prouděním, kdy se ohřívá chladný horninový materiál, ponořující se do hlubších částí partií zemské kůry a pláště. Průměrný zemský tepelný tok na kontinentech je přibližně  $80 \text{ mW.m}^{-2}$ . Samotná zemská kůra se podílí zhruba polovinou této energie, tj. cca  $32\text{-}40 \text{ mW.m}^{-2}$ . Druhá polovina pochází ze zemského pláště. Kontinenty pak celkem

produkují od 6 do 8 TW z globálního tepelného zemského toku. Oceánská kůra se vyznačuje proměnlivým zemským tepelným tokem, oscilujícím od 25 do 300 mW.m<sup>-2</sup>. Celkový průměrný zemský tepelný tok se pohybuje v rozmezí 60 až 85 mW.m<sup>-2</sup>. Hodnoty jsou zjištěny částečně teoreticky, částečně skutečným měřením, získané informace jsou předmětem modelování a dalších výzkumných teoretických i praktických prací. [1]

## Teplota hornin

Při povrchu Země není teplota hornin stálá. Podle tradičních teorií do hloubky cca 2 m dochází k dennímu kolísání teploty, do 20 až 30 m kolísá teplota podle roční doby. Hluběji je teplota v určité hloubce stálá, roste pouze směrem do větších hloubek. Hloubku, ve které teplota již není ovlivněna sezónními vlivy, nazýváme neutrální zóna. Rychlost růstu teploty vyjadřuje geotermický stupeň. **Geotermický stupeň** udává počet metrů do hloubky, kdy dojde ke zvýšení teploty o 1°C. V Evropě je průměrná hodnota geotermického stupně 33 m/1°C. Hodnota geotermického stupně se může lišit oblast od oblasti a zpravidla nemá na hloubce přísně lineární závislost.

Vnitřní energetické procesy Země musí být chápány komplexně s ohledem na termodynamické podmínky, čas a na změnu podílů jednotlivých zdrojů energie v historických epochách. Procesy nelze jednoduchým způsobem modelovat a nelze stanovovat jednoduché vstupní a okrajové podmínky.

## Podmínky v Moravskoslezském kraji

Jako příklad mohou sloužit údaje, týkající se Moravskoslezského kraje. Data byla převzata z materiálu „Územní energetická koncepce Moravskoslezského kraje“ z listopadu 2003. [26] Rozložení hodnot tepelného toku (**Příloha 1**) a mapa teplot na úrovni -200 m n.m. (**Příloha 2**) ukazuje významné rozdíly i na relativně malém území.

### 3.3. Vnější zdroje

Mezi vnější zdroje energie patří zejména sluneční záření, které se po dopadu na planetu Zemi v souladu se zákonem o zachování energie mění na jiné formy. Mezi projevy sluneční energie tak patří:

- energie fosilních paliv, která vznikla v dávné minulosti z rostlinné nebo živočišné biomasy (uhlí, ropa, zemní plyn);
- energie větru – různá intenzita ohřevu jednotlivých částí planety vyvolává větrné proudění, tj. pohyb vzduchových mas;
- energie vln – vítr může na hladině vodních ploch vyvolávat vznik vln;
- energie biomasy, která vznikla přeměnou sluneční energie na energii organických látek pomocí fotosyntézy (biomasu lze využít formou spalování nebo potravního využití živočichy);
- vodní energie – sluneční energie je hybnou silou koloběhu vody v přírodě;
- teplo – většinou jako projev ztrát při energetických přeměnách;
- vlastní nepřeměněná sluneční energie, kterou lze využít např. pro výrobu elektrické energie (fotovoltaika) nebo tepla (solární kolektory).

Sluneční energie je energií elektromagnetického záření. Spektrum slunečního záření lze rozdělit na [67]:

- záření ultrafialové (vlnová délka pod 400 nm),
- záření viditelné (vlnová délka v rozmezí 400 až 750 nm),
- záření infračervené (vlnová délka přes 750 nm).

Viditelné záření tvoří asi 45 % dopadajícího záření. Příkon záření dopadajícího na povrch zemské atmosféry se nazývá solární konstanta a činí  $1376 \text{ W.m}^{-2}$ . Ve skutečnosti hodnota konstantní není, protože oběžná dráha Země kolem Slunce je eliptická, což způsobuje kolísání solární konstanty asi o 3%.

Část záření je pohlceno atmosférou, což se týká jen některých vlnových délek. Ozónová vrstva pohlcuje prakticky celé nejkratší části ultrafialového záření. Do vlnové délky 290 nm je záření pohlceno ozónem zcela, v intervalu 290 až 320 nm zčásti. Oxid uhličitý a voda pohlcují některé

vlnové délky v oblasti infračerveného záření. Ve viditelné oblasti je pohlcení částečné a závisí na síle vrstvy atmosféry.

Množství prošlého záření udává vztah: [67]

$$R_g = I_* \cdot k_a^{\cos \alpha} \cdot \sin \alpha \text{ [W.m}^{-2}\text{]} \quad (1)$$

$R_g$  - globální záření, které dopadlo na vodorovný povrch Země v nulové nadmořské výšce,

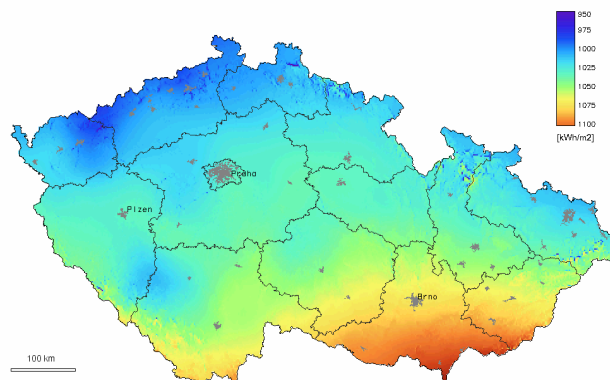
$I_*$  - solární konstanta,

$k_a$  - koeficient propustnosti atmosféry, pohybuje se v intervalu 0,7 až 0,9 ,

$\alpha$  - úhel výšky Slunce nad obzorem.

V podmínkách České republiky je globální radiace na zemském povrchu: [67]

- v letním poledni max. 1000 až 1050 W.m<sup>-2</sup>,
- v zimním poledni max. 300 W.m<sup>-2</sup>,
- při souvisle zatažené obloze max. 100 W.m<sup>-2</sup>,
- v noci (při úplňku) max. 0,01 W.m<sup>-2</sup>.



*Obr. 2 Celkové množství sluneční energie dopadající na území ČR za rok [62]*

### 3.4. Energetická bilance Země

#### 3.4.1. Fyzikální principy – vnější zdroje

V zemské atmosféře se energie přenáší několika způsoby. Kondukcí v případě, kdy si jednotlivé molekuly vzduchu přímo energii předávají. Konvekcí tehdy, jestliže k přenosu energie dochází v souvislosti s pohybem vzduchu. O radiaci hovoříme v případě, že dochází k přenosu energie zářením.

**Vyzařování absolutně černého tělesa se řídí třemi základními zákony:**

**Planckův zákon** - pro spektrum záření vysílaného povrchem černého tělesa

$$E(\lambda_w) = \frac{a}{\lambda_w^5 (e^{b/\lambda_w T} - 1)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

$E(\lambda_v)$ - množství elektromagnetického záření o vlnové délce  $\lambda_v$ , vyzařované jednotkovou plochou povrchu za jednotku času do poloprostoru,

$a = 3,71 \times 10^{-16} \text{ W.m}^2$  (konstanta),

$b = 1,43 \times 10^{-2} \text{ m.K}$  (konstanta),

$T$  – teplota (K),

$\lambda_v$ - vlnová délka (m).

**Stefan-Boltzmanův zákon** - pro celkové množství vyzařovaného elektromagnetického záření  $G$  na všech vlnových délkách z jednotkové plochy za jednotku času do poloprostoru:

$$G = \int_0^{\infty} E(\lambda_v) d\lambda_v = \sigma T^4 \left[ \text{W.m}^{-2} \right] \quad (3)$$

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \text{K}^{-4}$  (Stefan-Boltzmanova konstanta),

$T$  – teplota (K).

**Wienův zákon** – posunovací

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (4)$$

$\lambda_{\max}$  - vlnová délka maxima vyzařování (mm),

$T$  - teplota tělesa (K),

$b = 2,898 \text{ mm.K}$  (Wienova konstanta).

Reálná tělesa vyzařují vždy menší množství záření než absolutně černé těleso. Zmenšení se vyjadřuje koeficientem emisivity (např. pro vodní hladinu je emisivita přibližně 0,97). Sluneční

radiace je elektromagnetické záření, jehož spektrum před vstupem do atmosféry připomíná spektrum absolutně černého tělesa o povrchové teplotě 6000°K.

### Solární radiace na vstupu do atmosféry

Intenzita slunečního záření je definována jako množství zářivé energie, které za jednotku času dopadá na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům na vstupu do atmosféry.

$$I_o = I_* \frac{R_o^2}{R^2} \left[ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \right] \quad (5)$$

$I_*$  značí tzv. solární konstantu a  $R_o$  je střední vzdálenost Země od Slunce. Hodnota okamžité vzdálenosti  $R$  se liší od  $R_o$  jenom málo – maximálně asi o 3%. Solární konstanta je vypočtena ze vztahu:

$$I_* = \frac{3,865 \cdot 10^{26}}{4\pi(1,5 \cdot 10^{11})^2} = 1367 \text{ Wm}^{-2} \quad (6)$$

kde v čitateli je celková solární emise a ve jmenovateli plocha povrchu koule o poloměru  $R_o$ .

### Insolace

Insolace  $J$  je intenzita přímého slunečního záření dopadajícího za jednotku času kolmo na uvažovanou (libovolně nakloněnou) jednotkovou plochu. Je to tok sluneční energie na osvětlený povrch Země, který závisí na výšce Slunce. Maximální je tehdy, když je Slunce v zenitu. Výška Slunce, a tedy i insolace, závisí na zeměpisné šířce, části dne a části roku. Rozeznáváme insolaci denní a roční. Jednotka je  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

$$J = I_* \cos \beta \left[ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \right] \quad (7)$$

□ - odchylka normály uvažované plochy od směru záření,

$I_*$  - solární konstanta.

Průměrná insolace na vstupu do atmosféry je přibližně  $340 \text{ W.m}^{-2}$ , což je jedna čtvrtina solární konstanty (poměr mezi plochou průmětu zeměkoule do roviny kolmé k přicházejícím paprskům a plochou povrchu zeměkoule). Denní insolace závisí na úhlu dopadu slunečních paprsků a době expozice.

### Albedo

Albedo vyjadřuje poměr odraženého záření vzhledem k celkovému dopadajícímu záření. Je to bezrozměrná jednotka, často uváděná v procentech. Závisí na kmitočtu a směru dopadajícího záření. Albedo typických materiálů pro viditelné světlo se pohybuje od 90% u čerstvého sněhu až po 4% např. u uhlí. U většiny povrchů na Zemi je albedo v rozmezí 10 – 40%, přičemž průměrné albedo zemského tělesa je 30%.

### 3.4.2. Fyzikální principy – vnitřní zdroje

Teplu se v horninách šíří třemi způsoby – vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a zářením (radiací). V prvních dvou způsobech zprostředkovává přenos tepelné energie hmotné prostředí, v našem případě horninové prostředí tvořené zejména příslušným typem horniny, která může obsahovat určitý podíl kapalin a plynů. Vedení tepla v horninách se řídí Fourierovým zákonem:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}T [\text{W.m}^{-2}] \quad (8)$$

$q$  - hustota tepelného toku, udává množství tepla, procházejícího kolmo jednotkovou plochou ke směru průchodu tepla za jednotku času ( $\text{W.m}^{-2}$ );

$\lambda$  - konstanta úměrnosti, která se nazývá součinitel tepelné vodivosti ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ );

$T$  – teplota (K).



Měrná tepelná vodivost je pro danou látku, která charakterizuje její schopnost vést teplo. U téže látky se mění s vlhkostí, tlakem, teplotou, strukturou a čistotou látky. [2] U hornin záleží na mineralogickém složení, pórovitosti, hustotě, strukturně texturních vlastnostech dané horniny a na množství tekutiny, která je v hornině obsažena. Z hlediska dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla má parametr měrné tepelné vodivosti horniny nejdůležitější význam. [36]

*Tab. 5 Vybrané hodnoty koeficientu měrné tepelné vodivosti [1,2,36]*

materiál	koeficient tepelné vodivosti ( $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	hornina	koeficient tepelné vodivosti ( $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ )
Vzduch	0,026	štěrk suchý	0,7 – 0,9
Voda	0,6	prachovec	2,3 – 4,2
Sklo	0,8	jílovec	1,8 – 2,3
Led	1,6	pískovec jemnozrnný	2,9 – 4,5
Křemen	8	pískovec střednězrnný	3,6 – 4,6
Zlato	320	pískovec hrubozrnný	4,2 – 5,8
Stříbro	406	slepenec	4,5 – 5,8
Diamant max.	2600	Vyvřeliny a metamorfika	2,5 – 6,6

Podle [36] můžeme mezi další důležité tepelné parametry hornin zařadit:

### **c - měrné teplo**

Jednotkou měrného tepla je 1 joule na 1 kilogram a na 1 teplotní stupeň ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ). Měrné teplo  $1 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  má homogenní látka s hmotností rovnou 1 kg, k jejímuž ohřátí o 1 teplotní stupeň je zapotřebí energie 1 joule.

### **k- tepelná kapacita**

Součin hmotnosti **m** látky a jejího měrného tepla **c** ( $\text{J.K}^{-1}$ ). Číselně se rovná množství tepla, jehož je zapotřebí k ohřátí celého množství látky o 1K.

### **c<sub>ob</sub>- objemové teplo**

Množství tepla, kterého je zapotřebí k ohřátí jedné objemové jednotky látky o 1K

(J.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>).

#### **a – teplotní vodivost**

Určuje, jak rychle se v tělese vyrovnají teplotní rozdíly (m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>).

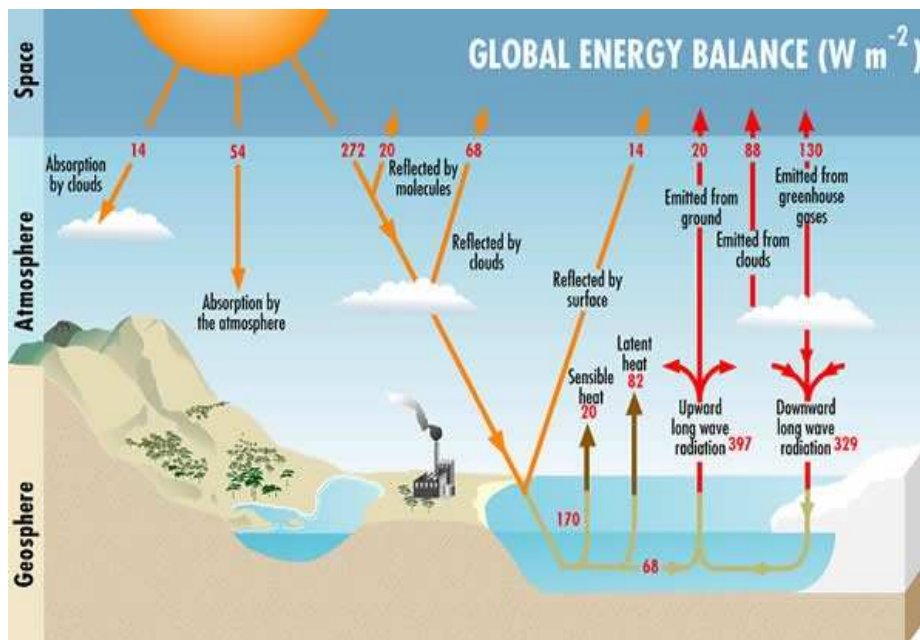
### **3.4.3. Energetická bilance zemského povrchu**

Země zachycuje ohromné množství slunečního záření. Nad hranicí atmosféry je průměrná energetická hustota záření Slunce na úrovni solární konstanty. Výkon tohoto zdroje je cca 180 000 TW pro celou planetu. Sluneční energie dopadající na Zemi musí být dlouhodobě v rovnováze s celkovým množstvím energie vyzařovaným Zemí, jinak by se teplota na planetě zvyšovala nade všechny meze. Záření opouštějící Zemi nabývá dvou forem – odražené sluneční záření a tepelné záření. Podle řady autorů tvoří odražené sluneční záření v průměru 30 % z celkového slunečního záření. Záření se odráží od atmosféry (6%), mraků (20%) a zemského povrchu (4%). Zbývajících 70% je pohlceno atmosférou (19 %) a zemským tělesem (51%). Tato pohlcená energie zahřívá atmosféru, oceány a souš.

Podobně jako Slunce vydává Země tepelné záření jako černé těleso. Ale protože zemský povrch je mnohem chladnější než sluneční (287°K versus 5780°K), pak podle Wienova posunovacího zákona musí Země vyzařovat svoji tepelnou energii na mnohem delších vlnových délkách než Slunce. Sluneční záření nabývá vrcholu na viditelných délkách zhruba 500 nanometrů, vrchol zemského záření je v dlouhovlnném infračerveném záření v délce kolem 10 mikrometrů. Zemská atmosféra je převážně transparentní pro viditelné a krátké infračervené délky, ne však pro vlnové záření o délce kolem 10 mikrometrů.

Atmosféra tak absorbuje cca 70% povrchového tepelného záření na dlouhých délkách dříve, než může uniknout do prostoru. Atmosféra sama se následně chová jako černé těleso ve dlouhovlnné infračervené oblasti spektra a v této oblasti také tepelnou energii do prostoru vyzařuje. Zemská atmosféra a mraky jsou zdrojem cca 90% dlouhovlnného infračerveného záření a 64% celkových zemských emisí ve všech vlnových délkách. Atmosféra a mraky získávají tuto energii

z přímo absorbované sluneční energie, z pohlceného tepelného záření z povrchu, z tepla přeneseného konvekčním prouděním a z kondenzace vodních par.



Obr. 3 Celková energetická rovnováha Země [57]

*Global Energy Balance – celková energetická rovnováha; Space – kosmický prostor; Atmosphere – atmosféra; Geosphere – geosféra; Absorption by clouds – adsorpce mraky; Adsorption by atmosphere – adsorpce atmosférou; Reflected by molecules – odraženo molekulami; Reflected by clouds – odraženo mraky; Reflected by surface – odraženo zemským povrchem; Sensible heat – vlastní teplo; Latent heat – skupenské teplo; Upward long wave radiation – vztupné dlouhovlnné záření; Emitted from ground – vyzářeno povrchem; Emitted from clouds – vyzářeno mraky; Downward long wave radiation – sestupné dlouhovlnné záření; Emitted from greenhouse gases – vyzářeno skleníkovými plyny*

Tepelná energie je na zemském povrchu a v přívrchových zónách rozložena nerovnoměrně. Vlivem insolace jsou slunečním zářením více zahřívány oblasti kolem rovníku a naopak méně v blízkosti pólů. Roli hraje i albedo sněhu. Důsledkem tohoto jevu je přirozený transfer tepelné energie směrem od rovníku k zemským pólům.

## Skleníkový efekt

Atmosféra absorbuje dlouhovlnné infračervené záření tak dobře, že vytváří jednocestnou přikrývku nad zemským povrchem. Viditelné záření ze Slunce se snadno dostává přes atmosféru k zemskému povrchu, ale tepelné záření z povrchu se obtížně dostává ven. Následkem toho se zemský povrch zahřívá. Energie záření vyzařovaného povrchem se zvyšuje podle Stefan – Boltzmannova zákona, dokud nevykompenzuje pohlcování atmosférou a neustaví se nová rovnováha teplot. Následkem tohoto jevu jsou průměrné teploty povrchu Země značně vyšší, než by byly, kdyby teplota zemského povrchu byla určena pouze zemským albedem a vlastnostmi povrchu jako černého tělesa.

Intenzita slunečního záření dopadajícího na zemský povrch je vlivem odrazu a absorpce slunečního záření atmosférou podstatně menší než vstupní insolace a také značně variabilní. Planetární albedo dosahuje zhruba hodnoty 30%, z toho asi 26% připadá na atmosféru a zbytek na zemský povrch. Průměrná intenzita slunečního záření dopadajícího na zemský povrch tedy dosahuje asi 55% insolace, z čehož zhruba 51% je povrchem absorbováno a 4% jsou odražena. Průměrně dopadá na zemský povrch energie o výkonu přibližně  $170 \text{ W.m}^{-2}$ . Vnitřní teplo Země se na zemském povrchu účastní energetických procesů v menší míře – průměrná hodnota výkonu vnitřních zdrojů se pohybuje ve výši 60 až  $80 \text{ mW.m}^{-2}$  [1]

### 3.4.4. Teorie

Podle mínění autora pracuje nejsvrchnější část zemské kůry jako zásobník nízkopotenciální tepelné energie, která pochází převážně z vnějších zdrojů. Zásobník je neustále doplňován a zároveň je z něho neustále čerpáno.

V atmosféře, hydrosféře a v horní části litosféry probíhá velmi složitý koloběh dynamických energetických výměn, který je od vzniku atmosféry před čtyřmi miliardami let víceméně stabilní.

Neustále probíhají procesy vzájemných předávání energií mezi jednotlivými složkami systému. Jednotlivé cykly výměn se prolínají a liší formou, místem, časem i dobou trvání. Energetická bilance této soustavy je vyrovnaná, což znamená, že z planetárního hlediska se příjem

energie rovná výdeji. Důkazem je skutečnost, že se průběh teplot na Zemi za posledních několik stovek milionů let dramaticky nemění.

Přestože navenek je soustava energeticky stabilní, uvnitř probíhají neustálé změny, které mají různé příčiny (např. změny poloh magnetických pólů Země, dopady nebeských těles na Zemi, zvýšená sopečná činnost, apod.). Důsledkem změn mohou být teplotní výkyvy během jednotlivých geologických období a změny klimatu (např. vznik a zánik dob ledových).

Stabilita energetických výměn vnějších zdrojů v horní části litosféry, v hydrosféře a atmosféře je pravděpodobně příčinou toho, že úbytek energie vnitřních zdrojů není příliš intenzivní. Zemský tepelný tok, přestože není v porovnání se solární energií vysoký, je z hlediska využití pro tepelná čerpadla zdrojem významným.

Otázkou je, do jaké hloubky v dané lokalitě je možno očekávat převažující zdroj tepla. Zemní kolektor může být podpovrchový, uložený pouze v rýhách. V tomto případě se bude spíše jednat o využití vnějších zdrojů tepla. Stejně tak může být zdrojem tepla vrt o hloubce 300 m a v tomto případě bude velký díl tepla pocházet ze zdrojů vnitřních.

Nejpodstatnější závěr je, že tepelná čerpadla, která čerpají nízkopotenciální energii ze svrchní části zemské kůry, se pouze účastní koloběhu výměn energie. Tepelná čerpadla odebírají teplo z litosféry a předávají ho atmosféře nebo hydrosféře, odkud tato energie znovu vstupuje do energetického systému planety. Teplo (tedy jeho příslušná část, získaná ze Země) se tím ani nezískává, ani neztrácí, jedná se pouze o urychlení jednoho z cyklů výměn, které je kompenzováno v rámci celkového energetického systému Země.

### **3.5. Shrnutí**

Atmosféra, hydrosféra a litosféra tvoří velmi složitý energetický systém. Energie je komplikovaně předávána vzájemně mezi jednotlivými složkami. Svrchní část zemské kůry tvoří zásobník energie, který pochází převážně ze Slunce. Vnitřní energie Země je významná od určitých hloubek. Na různých místech mohou být hloubky různé, rozhoduje hustota zemského tepelného toku a poloha lokality na Zemi.

Výměna energie mezi složkami systému prostřednictvím tepelných čerpadel nemůže být příčinou změn v celkové energetické bilanci Země (stejně jako nejsou ostatní výměny příčinou jakýchkoliv změn patrných z našeho hlediska). Z pohledu posuzování horninového prostředí jako zdroje tepla na konkrétní lokalitě při projekčním řešení je nutno posoudit:

- **převažující zdroj tepla** (vnější x vnitřní) – geologickou a hydrogeologickou úlohu;
- **geografickou polohu** (zeměpisnou šířku, dlouhodobý průběh počasí, klima) – to vše je důležité pro posouzení regenerace sluneční energie;
- **tepelné vlastnosti hornin** – rozhodujícím parametrem je koeficient tepelné vodivosti daného horninového prostředí.

## 4. Tepelná čerpadla

### 4.1. Nízkopotenciální energie

Nízkopotenciální zdroje tepla zachycují a uchovávají sluneční a geotermální energii. Jejich teplotní úroveň je však natolik nízká, že obsažený potenciál není možno využít přímo. Základním technologickým zařízením pro využití nízkopotenciálních zdrojů je tepelné čerpadlo. Jeho tepelný oběh umožňuje za dodání vnější energie přečerpávat teplo z nižší potenciálové hladiny na vyšší. Nízkopotenciální zdroje tepla musí splňovat základní požadavky:

- maximální stabilitu zdroje vzhledem k průběhu venkovních teplot,
- energetickou nenáročnost na přepravu „primárního tepla“ od zdroje k tepelnému čerpadlu,
- nezávadnost z hlediska poškození strojního zařízení – výměníků tepelného čerpadla,
- při využívání tepla ze zdroje nesmí být poškozeno životní prostředí.

Nízkopotenciální teplo se ze zdrojů k tepelnému čerpadlu odčerpává pomocí vloženého okruhu nositelů tepla. Těmi bývají voda nebo nemrznoucí směs (solanka, etylalkohol nebo glykoly). U zdrojů, kde je to technicky možné, se prostředník vynechává a vnější médium vstupuje přímo do výparníku tepelného čerpadla. Je zřejmé, že vložený okruh znamená ztrátu na účinnosti přečerpávání tepla. Primárními zdroji nízkopotenciální energie mohou obecně být:

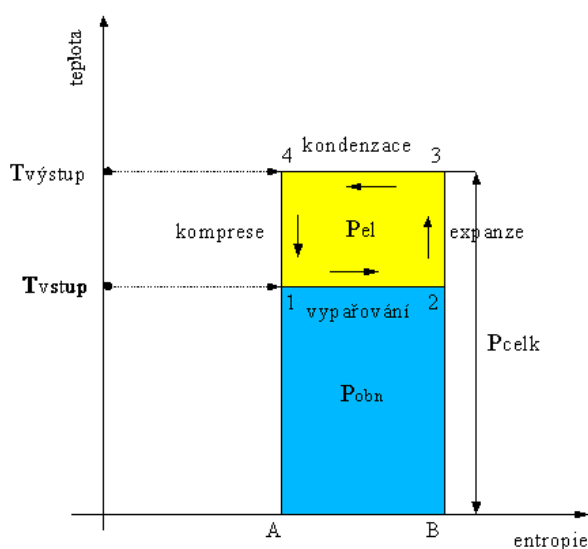
- zemské teplo získávané z hornin,
- zemské teplo získávané z vody,
- teplo z okolního vzduchu,
- odpadní teplo z výroby, odpadní vody, důlní voda, ap.

Tepelná čerpadla jsou určena především jako tepelný zdroj pro obytné budovy, pro vytápění rodinných domků, ohřev užitkové vody a vody v bazénu. Dnes nejsou výjimkou ani rozsáhlejší aplikace v řádu stovek kW tepelného výkonu, například pro vytápění sportovních hal nebo velkých obytných komplexů. V poslední době je zařízení často projektováno na provoz

v kombinovaném režimu, tzn. nejen pro účely vytápění v zimním období, ale rovněž pro chlazení (ukládání tepla získaného klimatizací objektu) v období letním.

## 4.2. Princip tepelného čerpadla

První tepelné čerpadlo zkonstruoval skotský matematik a fyzik Wiliam Kelvinem již koncem 19. Století. K jejich širšímu využití došlo v souvislosti s první ropnou krizí v 70. letech minulého století ve Spojených státech. Tepelná čerpadla jsou založena na Carnotově cyklu.

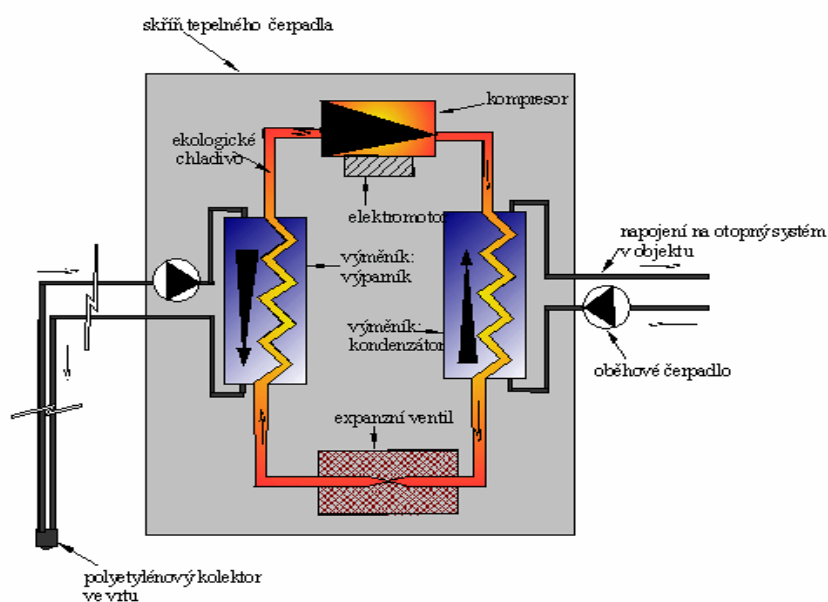


Obr. 4 Idealizovaný Carnotův cyklus [37]

$P_{obn}$  = obnovitelná energie přírodního prostředí,  $P_{el}$  = energie dodaná elmotorem kompresoru,  $P_{celk}$  = topný výkon TČ,  $T_{vstup}$  = teplota z přírodního zdroje,  $T_{vystup}$  = teplota dodávaná TČ do otopného systému



Základním principem je uzavřený okruh, jímž se teplo na jedné straně odebírá a na druhé předává. Aby mohlo být nízkopotenciální teplo využito k vytápění či ohřevu teplé vody, je třeba ho převést na teplotu vyšší. K tomuto účelu využívá tepelné čerpadlo fyzikálních jevů spojených se změnou skupenství v závislosti na tlaku pracovní látky -chladiwa. Ve výparníku tepelného čerpadla začne chladivo po předešlém snížení tlaku expanzním ventilem vřít a následně odnímat teplo zdroji nízkopotenciálního tepla. Páry chladiva jsou poté kompresorem odsávány a stlačeny tak, že dochází k jejich zahřátí na vysokou teplotu. V kondenzátoru pak dojde k předání získaného tepla ohřívané látce, přičemž se páry opět ochlazují a zkapalní. Celý oběh je uzavřen odvodem chladiva do výparníku přes expanzní ventil, který snižuje tlak kapalného chladiva.



Obr. 5 Princip tepelného čerpadla [37]

Běžně používaná tepelná čerpadla dokáží vyrobit třikrát až čtyřikrát více tepla nežli spotřebují elektrické energie. Poměr těchto veličin, tedy energie dodané (tepelný výkon) k energii spotřebované (elektrický příkon), se u tepelného čerpadla nazývá topný faktor (anglicky Coefficient of Performance, zkratka COP).

$$\text{COP} = P_{\text{top}} / P_{\text{el}} \quad (9)$$

## COP – topný faktor,

$P_{\text{top}}$  - topný výkon tepelného čerpadla (kW),

$P_{\text{el}}$  - elektrický výkon kompresoru (kW),

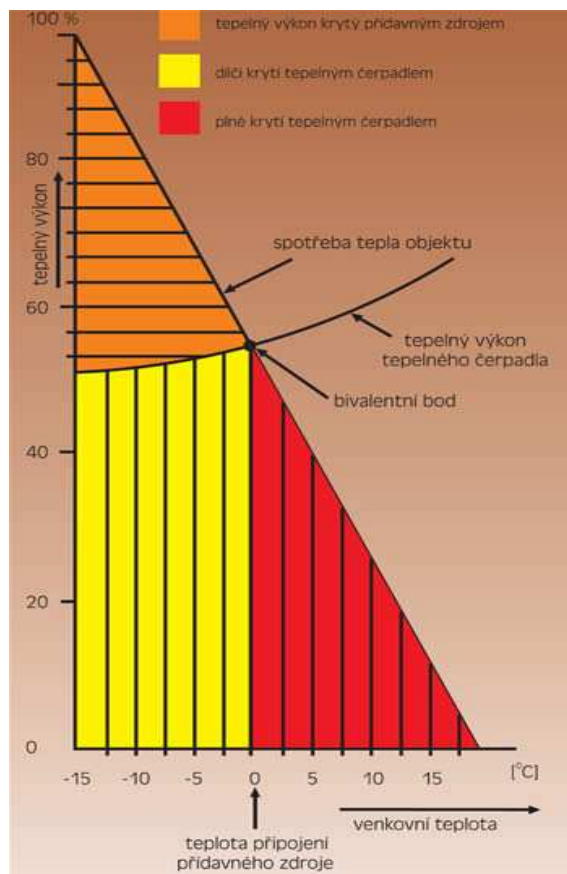
$$P_{\text{top}} = P_{\text{chlad}} + P_{\text{el}} \quad (10)$$

$P_{\text{chlad}}$  – chladicí výkon kompresoru (zjednodušeně chladicí výkon na výparníku) (kW).

Aby tepelné čerpadlo mělo co nejmenší spotřebu pohonné energie a pracovalo s vysokou hodnotou topného faktoru, je především zapotřebí:

- používat jako zdroj nízkopotenciálního tepla látky s co možná nejvyšší teplotou, nepřesahující však maximální teplotu udávanou výrobcem pro daný typ tepelného čerpadla;
- používat tepelné čerpadlo v kombinaci s nízkoteplotním otopným systémem, nejlépe podlahovým vytápěním.

Vzhledem k tomu, že spotřeba tepla je během roku velmi proměnlivá, nebylo by ekonomické navrhovat výkon tepelného čerpadla na pokrytí celkových tepelných ztrát. Z tohoto důvodu se většinou tepelné čerpadlo používá v kombinaci s jiným špičkovým zdrojem tepla (například elektrokotlem) v bivalentním provozu. Instalovaný tepelný výkon samotného čerpadla je pak na úrovni například 70-85 % maximálního potřebného. U správně navrženého systému dává špičkový zdroj cca 15 % energie. [59]



Obr. 6 Příklad bivalentního chodu tepelného čerpadla [59]

Výhody vytápěcího systému s tepelným čerpadlem:

- snížení energetické náročnosti vytápěcího systému,
- relativní nezávislost provozních nákladů na ceně energie,
- ekologický provoz,
- fyziologicky příznivější způsob vytápění.

Nevýhody vytápěcího systému s tepelným čerpadlem:

- zpravidla vyšší pořizovací náklady za topnou soustavu,
- tepelné čerpadlo vyžaduje dva zdroje energie.

### 4.3. Systémy tepelných čerpadel

Systémy tepelných čerpadel jsou vázány na primární zdroj tepla. Jsou to tedy obecně: země – voda (vzduch), voda – voda (vzduch), vzduch – voda (vzduch), přičemž první slovo určuje primární zdroj tepla, druhé zdroj sekundární – tj. médium, jehož pomocí je výsledné vysokopotenciální teplo přenášeno pro praktické použití.

#### Systém vzduch – voda

Využívá jako zdroj energie okolní vzduch. Může pracovat i za nízkých teplot, ale účinnost tepelného čerpadla s poklesem teplot vzduchu klesá. Rovněž lze s výhodou využít odpadního tepla technologických procesů nebo tepla odpadního vzduchu při větrání.



*Obr. 7 Schéma systému tepelného čerpadla vzduch - voda [64]*

#### Systém voda – voda

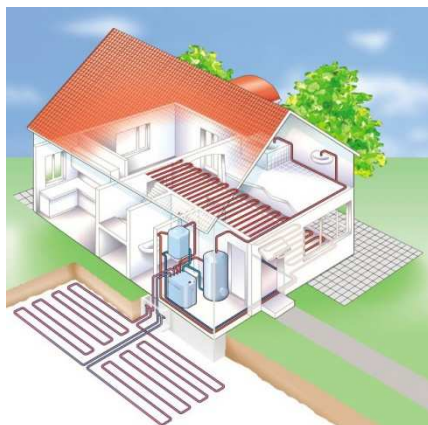
Využívá jako primární zdroj tepla vody, která jej předává ve výměníku tepelnému čerpadlu. Může být využito teplo z odpadní vody, z vodních nádrží, nejčastěji se využívá teplo vody čerpané ze studní, tj. teplo vody ohřáté od horninového prostředí.



*Obr. 8 Schéma systému tepelného čerpadla voda - voda [64]*

## System země – voda

Využívá jako zdroj tepla horninové prostředí. Podle technického provedení primárního výměníku hovoříme o zemních (kopaných) kolektorech (jednoduché smyčky nebo tzv. slinky), vrtaných kolektorech, speciálních stavebních aplikacích (zemní plastové rošty, plastové výměníky v pilotách).



*Obr. 9 Schéma systému tepelného čerpadla země - voda [64]*

Přednosti využití energie Země tepelnými čerpadly:

- ověřený funkční a vysoce úsporný zdroj tepelné energie, šetřící životní prostředí,

- možnost uplatnění na kterémkoliv místě na Zemi,
- ochrana klimatu Země,
- nízké provozní náklady tepelného čerpadla,
- úplná automatizace, bezpečnost provozu a snadná obsluha,
- snadné umístění tepelného čerpadla v objektu (malé rozměry, nízká hmotnost, snadná montáž).

#### 4.4. Geotermální tepelná čerpadla

Mezi geotermální tepelná čerpadla (Ground Coupled Heat Pumps, Geothermal Heat Pumps) patří čerpadla typu země – voda a voda – voda. Geotermální tepelná čerpadla jsou systémy, využívající jako zdroje nízkopotenciálního tepla buď horninového prostředí (uzavřené systémy), nebo vody čerpané ze studní (otevřené systémy). Zařízení využívají zemské kůry jako zdroje tepla, které je následně přenášeno teplonosnou kapalinou na výparník tepelného čerpadla. Obdobně lze používat stejný princip pro ukládání tepla do hornin nebo podzemní vody a zařízení využít pro klimatizaci objektů. Pokud jsou využívány vrty jako primární tepelný výměník (Borehole Heat Exchanger), je možno tento výměník v zásadě instalovat na libovolnou lokalitu. [43]

Přestože jsou geotermální tepelná čerpadla prakticky používána od svých prvních instalací ve Spojených státech více než padesát let, jejich uplatnění na plný rozvoj ve světě teprve čeká. V některých zemích, jako ve Švýcarsku, Německu, Rakousku, Švédsku, Dánsku, Norsku, Francii a USA je v provozu již velký počet instalací. Hlavním tématem se tam dnes stávají bezchybné instalační postupy, kontrola kvality a certifikace dodavatelů.

Až na výjimky jako Island, Maďarsko nebo Francie se ve většině evropských zemí nevyskytují významné zdroje vysokopotenciální geotermální energie. Využití všudypřítomného zdroje nízkopotenciálního tepla - zemské kůry – je pak logickou alternativou.

V klimatických podmínkách střední a severní Evropy, kde se trh s geotermálními tepelnými čerpadly rozvíjí nejdynamičtěji, je poptávka zejména po vytápění. Chlazení a klimatizace je málokdy vyžadována, a pokud ano, pak většinou u velkých aplikací, jako jsou například sportovní haly. Je však reálný předpoklad, že kombinace režimů vytápění a chlazení bude stále populárnější a vývoj poptávky bude obdobný, jako např. v USA.

Instalace a následný provoz geotermálních tepelných čerpadel v kombinovaném režimu se tak stává pro jejich budoucí rozvoj stále důležitější.

Systémy výměníků, umožňujících čerpat teplo ze zemské kůry, můžeme v zásadě rozdělit na dvě velké skupiny. Do první skupiny patří systémy, využívající uzavřených okruhů (Closed Loop Systems), kterými proudí teplotonosná kapalina. Okruh je tvořen zpravidla plastovým potrubím, zapuštěným do horniny. Druhou skupinu systémů tvoří otevřené okruhy, přejímající teplo z vody, která je čerpána ze studní.

Návazně na daný zdroj tepla se volí technické řešení. Hovoříme o „studnách“ (Groundwater Wells) u otevřených systémů, dále o vrtaných výměnících či primárních kolektorech (Borehole Heat Exchanger), horizontálních kopaných výměnících a geotechnických prvcích (energetické piloty - Geostructures).

#### **4.5. Vývoj trhu tepelných čerpadel v České republice a v Evropě**

Ve dnech 8. a 9. března 2007 se v Bruselu sešly hlavy států a předsedové vlád členských zemí EU na jednání Evropské rady. Hlavním tématem jednání byla energetika, kdy byl stanoven závazný cíl 20% podílu obnovitelných zdrojů v celkové spotřebě EU do roku 2020 s tím, že jeho výše pro jednotlivé členské státy bude určena na základě mnoha faktorů. Konkrétní cíl pro Českou republiku, stejně jako pro ostatní členské státy, je proto v tuto chvíli neznámý a může se radikálně od ostatních členských států lišit. Tento projekt je v kontextu s cíli, ke kterým se Česká republika přihlásila jako signatář Kjótského protokolu z roku 1997. Ratifikovala jej 15.11.2001. Podle této dohody by měla Česká republika snížit emise skleníkových plynů v kontrolovaném období 2008 až 2012 o 8 % oproti roku 1990. [6]

Ke splnění úkolů, vyplývajících z přijatých mezinárodních závazků, vede celá řada opatření, která byla v širokém spektru přijata na národní úrovni. Týkají se výchovy a vzdělávání, zpracování nové ekologické legislativy, vytvoření různých podpůrných ekologických programů na úrovni ministerstev, definování úkolů vědy a výzkumu, úkolů pro grantové agentury apod. Souhrnným cílem těchto opatření je podpora využívání alternativních zdrojů energie.

Důsledkem této politiky se v České republice dynamicky rozvíjí technologie pro využití obnovitelných zdrojů energie. Mezi stále oblíbenější zařízení se rovněž řadí tepelná čerpadla, využívající nízkopotenciální primární energii. Podle nejprísnejších ekologických

pravidel není tento způsob získávání přirozeného tepla úplně ideální, protože přibližně jedna třetina energie musí být dodána formou energie elektrické a až zbývající dvě třetiny jsou ve smyslu ekologické terminologie „čisté“. Přes tuto zdánlivou nevýhodu však mají tepelná čerpadla celou řadu významných výhod, zejména možnost praktické aplikace do každé domácnosti, možnost instalovat různé výkony od jednotek do tisíců kW, pohodlnou obsluhu, bezúdržbový provoz, vysokou spolehlivost a životnost. Díky uvedeným výhodám a na základě dlouholetých zkušeností s provozem těchto zařízení v Evropě mají tepelná čerpadla i v České republice velkou budoucnost.

Tepelná čerpadla jsou v České republice vhodná především pro celoroční vytápění stavebních objektů a přípravu teplé užitkové vody. Pro klimatizaci budov jsou zde používána zatím jen v malé míře. Ve větším měřítku jsou instalována do stavebních objektů po roce 2000. Hlavní vliv na růst trhu s tepelnými čerpadly měla podpora státu a především růst cen energií. V České republice byl také zaveden zvýhodněný cenový tarif pro odběr elektrické energie při instalaci tohoto zařízení. Příslušný tarif se vztahuje na celý stavební objekt.

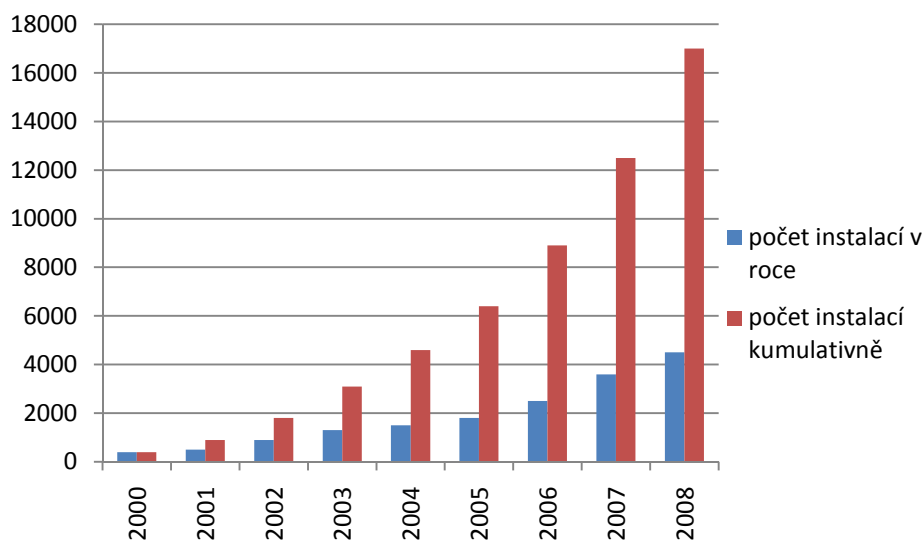
Co do počtu instalací jsou tepelná čerpadla instalována z více než 80% především do novostaveb rodinných domků. Zbývajících cca 20% instalací připadá na vytápění městských sportovních hal, domovů pro seniory, firemních objektů, škol, hotelů, penzionů a církevních objektů. Jsou instalována tepelná čerpadla zahraničních výrobců: IVT (Švédsko - nejvíce aplikací), Viesmann (Německo), NIBE (Švédsko), Stiebel Eltron (Německo), Climate Master (USA), ale také českých výrobců jako například tepelná čerpadla společnosti TC Mach.

Celkový vývoj počtu instalací tepelných čerpadel v České republice získal patřičnou dynamiku od roku 2000. Prvních deset instalací bylo ze strany Státního fondu pro životní prostředí, který je v působnosti Ministerstva životního prostředí České republiky, podpořeno finančně v roce 1999. Na počet a výkon instalací v jednotlivých letech je možno usuzovat jednak z počtu udělených podpor, jednak z počtu žádostí o zvýhodněnou sazbu elektrické energie. Informace lze čerpat i od samotných firem, které instalují tyto stroje do objektů. Kombinací uvedených zdrojů je možno získat celkem věrohodný obraz o vývoji počtu instalací. Statistiky na základě uvedených zdrojů a s využitím účelových dotazníků pro dodavatelské firmy pravidelně zpracovává Odbor surovinové a energetické statistiky Ministerstva průmyslu a obchodu ve specializované zprávě za příslušný rok.[3] Na základě dostupných zdrojů a praktických znalostí o trhu je



možno odhadnout pravděpodobný vývoj počtu instalací všech typů tepelných čerpadel v České republice od roku 2000.

*Graf 1 Pravděpodobný vývoj počtu instalací tepelných čerpadel v ČR  
[3, rok 2008-2009 autor]*



Ze statistik a dosažitelných údajů lze odvodit, že podíl instalací tepelných čerpadel země – voda se průměrně pohybuje na úrovni 50% z celkového počtu. Odborným odhadem, založeným na praktických zkušenostech autora, je konzervativní odhad podílu vrtaných zemních kolektorů cca 40% z tohoto množství.

Společnost Green Gas DPB, a.s. realizuje vrty pro tepelná čerpadla od roku 1999. V následující tabulce jsou shrnuty dlouhodobé provozní údaje za období 1999 až 2008.

*Tab. 6 Dlouhodobá statistika provozních údajů Green Gas DPB, a.s.  
[data autor, zaokrouhleno]*

PARAMETR	JEDNOTKA	HODNOTA
Počet vrtů	ks	2 774
Celková metráž	m	270 940
Počet lokalit	ks	1 123
Průměrná délka vrtu	m	97,7
Průměrný počet vrtů na lokalitu	ks	2,5
Průměrná metráž na lokalitu	m	241,3

Například v roce 2007 byl podle [3] počet montáží země – voda 1730 s celkovým instalovaným tepelným výkonem 24 600 kW. Případů s vrtaným kolektorem tedy bylo cca 700 s instalovaným výkonem cca 10 000 kW. Jestliže vyjdeme ze statistiky Green Gas DPB, a.s., můžeme odhadnout celkovou metráž realizovanou v České republice v roce 2007 na úrovni 169 000 m. Stejnou úvahou odhadneme metráž cca 217 000 m v roce 2008 a podobně je možno predikovat i hodnotu pro rok 2009 na úrovni cca 240 000 m, což znamená 2400 vrtů ročně, průměrně 6,5 vrtů za kalendářní den.

Jak je patrné, k celkovému trendu využívání tepelných čerpadel se tedy přidala i Česká republika. Stejně jako v dalších rozvinutých zemích EU byla založena i národní asociace pro využití tepelných čerpadel (Czech Heat Pump Association), která sdružuje firmy i jednotlivce z různých oborů činností, souvisejících s využitím tepelných čerpadel. Tato asociace je platformou pro odbornou diskusi svých členů, partnerem státním orgánům, energetickým a zájmovým agenturám a zejména slouží jako zdroj informací pro odbornou i laickou veřejnost.

## **4.6. Ekonomika tepelných čerpadel**

### **4.6.1. Rozhodující faktory pro volbu vytápění**

Je obecně známo, že instalace tepelného čerpadla je podmíněna vyšší investicí, která se zhodnocuje v čase díky nižším provozním nákladům. Podle různých dodavatelů a investorů se prostá návratnost pohybuje od téměř nereálných 4 let až do věrohodnějších 10 let. Kromě tohoto elementárního pohledu investora vstupuje do úvah o způsobu vytápění celá řada dalších důležitých prvků. V této části kapitoly budou stručně shrnuty nejdůležitější faktory, které ovlivňují rozhodovací proces o způsobu vytápění.

#### **Faktor technický**

Představuje vstupní informaci pro volbu způsobu vytápění a pro odhad nutných investičních prostředků na instalaci. Investor na konkrétní stavbě hodnotí technické možnosti, odhadne výši investic a tím se dostane k prvnímu výběru alternativy. V této etapě úvah investor zpravidla rozdělí alternativy vytápění na realizovatelné a nerealizovatelné. Jiný je pohled na volbu systému vytápění například na místě, kde jsou

inženýrské sítě na pozemku již dostupné, a jiný na lokalitu v horách, kde je pouze rozvod elektrické energie.

Mezi technické faktory také můžeme zařadit výši energetické potřeby objektu. Tepelné ztráty jsou v zásadě ovlivňovány jednak kvalitou provedení stavby, jednak její velikostí. Obecně platí, že potřeba energie na vytápění je tím menší, čím je menší a lépe izolovaný vytápěný objekt.

### **Faktor synergie**

Úzce souvisí s faktorem technickým. Jestliže například stavebník musí uskutečnit v rámci stavby náročné terénní úpravy a vznikne tak relativně zdarma příležitost k položení zemního kolektoru, může být tento argument rozhodující pro volbu tepelného čerpadla. Stejný efekt je u vrtaných studní s velkou vydatností nebo u energetických pilot.

### **Faktor finanční**

Vychází ze dvou předcházejících faktorů, které určují absolutní výši investice. Investor zvažuje rozložení finančních prostředků v čase. Výše investice je definována jako rozdíl mezi náklady na instalaci tepelného čerpadla a náklady na instalaci jiného způsobu vytápění – například plynem. Příkladem může být srovnání instalace tepelného čerpadla a kondenzačního plynového kotle do objektu o tepelné ztrátě 6 kW. Podle ilustračního modelového výpočtu [63] je rozdíl v pořizovací hodnotě 172 tis. Kč v neprospěch tepelného čerpadla. Naopak ve prospěch tepelného čerpadla je rozdíl cca 26 tis. Kč za rok v provozních nákladech. Prostá návratnost je tedy přibližně 7 let. Pokud se na uvedený příklad podíváme jako finanční investici, při vkladu 172 tis. Kč a ročním nezdaněném výnosu 26 tis. Kč vychází dle [63] úrok 15%, což je několikrát více, než je možno získat u jakéhokoliv finančního produktu seriózní banky.

Na druhé straně do výpočtu vstupují i provozní náklady. Ty jsou dány množstvím jednotek (např. GJ za rok) a cenou za jednotku. Bude li dům v energetické kvalitě jako nízkoenergetický (spotřeba tepla pro vytápění menší než 50 kWh/m<sup>2</sup> obytné plochy/rok), nebo dokonce ve třídě domů pasivních (spotřeba tepla pro vytápění menší než 15 kWh/m<sup>2</sup> obytné plochy/rok), bude absolutní spotřeba energie na vytápění nízká. Rozdíl vyplývající z úspor provozních nákladů nebude významný a návratnost vložených prostředků se prodlouží. Do této skupiny faktorů spadá i odhad budoucího vývoje cen paliv a volba paliva, u kterého se čeká nejmenší cenový nárůst.

Nejzákladnějším kritériem však bývá aktuální finanční situace investora. Pokud má dostatek prostředků, většinou se rozhoduje pro alternativu, která je výhodnější z dlouhodobého hlediska. Pokud jsou finanční zdroje investora limitovány, řeší se primárně dokončení stavby, vysoké náklady na provoz topné soustavy jsou chápány jako problém, který bude řešen v budoucnu.

### **Faktor finančních podpor**

Motivace podpory vytápění tepelnými čerpadly je dvojí. V první řadě jsou ze strany státu podporovány ekologické způsoby topení s využitím obnovitelných zdrojů energie v souladu se státní politikou pro životní prostředí. Podpora je zaměřena na investiční stránku projektu. Mezi takové aktuálně patří program Ministerstva životního prostředí ČR s názvem Zelená úsporám, podle kterého je možno získat na instalaci tepelného čerpadla do novostavby podporu až 75 tis. Kč. [68]

Druhou skupinou, která má na instalacích tepelných čerpadel komerční zájem, jsou výrobci a distributoři elektřiny. Podpora z jejich strany je vyjádřena zvýhodněnými sazbami na elektrickou energii a částečně pokrývá náklady na provoz tepelného čerpadla.

### **Faktor individuality**

Do úvah o způsobu vytápění nevstupují pouze racionální měřitelné argumenty. Někteří investoři či stavebníci upřednostňují určitý způsob vnitřního vytápění bez ohledu na investiční a provozní náklady (např. kachlová kamna, krb). Jiní naopak dávají prioritu pohodlí a preferují bezúdržbové automatické systémy (tepelná čerpadla, elektrické přímotopy). Důkazem zvyšující se úroveň ekologického vědomí je i stoupající počet instalací využívajících obnovitelných zdrojů energie. Ekologický způsob myšlení hraje v rozhodování nezanedbatelnou úlohu a může být vlivem, který nakonec rozhodne o vytápění tepelným čerpadlem.

#### **4.6.2. Porovnání nákladů na topení**

Pro výpočet nákladů na topení je nutno přesně a komplexně definovat investiční náklady a stejně pečlivě stanovit náklady provozní. Na příkladu [63] je možno demonstrovat možný přístup.

*Tab. 7 Příklad srovnávací analýzy investičních nákladů [63]*

Plynový kotel (Kč bez DPH)		Tepelné čerpadlo (Kč bez DPH )
53 000	Cena zařízení včetně regulace	207 000
23 100	Zásobník teplé vody	0
16 000	Montáž kotelní, uvedení do provozu, revize	75 000
9 000	Odkouření kotle nebo komín	0
33 000	Plynovody plus plynová zařízení v objektu	0
30 000	Plynová přípojka k pozemku	0
0	Primární kolektor	40 000
<b>164 100</b>	<b>Celkem</b>	<b>322 000</b>

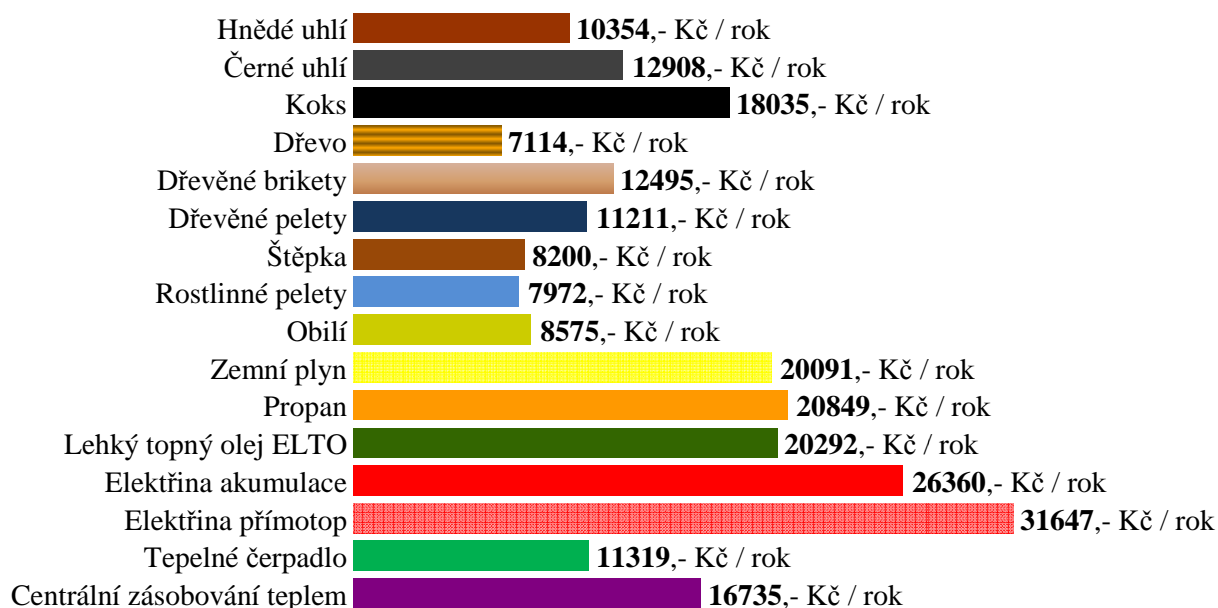
*Tab. 8 Příklad srovnávací analýzy provozních nákladů [63]*

Plynový kotel (Kč včetně DPH)		Tepelné čerpadlo (Kč včetně DPH)
15 896	Spotřeba tepla na vytápění 11 400 kWh	6 800
5 578	Spotřeba tepla na ohřev teplé vody 4 000 kWh	3 577
19 055	Spotřeba ostatní elektřiny v domě 4 000 kWh	10 579
1 642	Paušální platba za elektřinu	4 255
8 819	Paušální platba za plyn	0
<b>50 990</b>	<b>Celkem</b>	<b>25 211</b>

Jak již bylo uvedeno výše, rozdíl v investičních nákladech je v tomto případě 157 900 Kč bez DPH (zaokrouhleno 172 000 Kč včetně DPH). Rozdíl v provozních nákladech je 25 779 Kč včetně DPH. Prostá návratnost je cca 7 let.

Pro porovnání alternativ vytápění je možno využít kalkulátoru [65], jehož pomocí je možno přibližně odhadnout provozní náklady na vytápění jednotlivými druhy paliva. Kalkulátor nepočítá náklady na ohřev užitkové vody a ani náklady na ostatní spotřebu elektrické energie v objektu. S využitím příkladu [63] a dosazením co nejbližších hodnot do kalkulátoru [65] dosáhneme srovnatelných výsledků.

*Graf 2 Srovnání provozních nákladů na vytápění podle druhu paliva [65]*



Výpočet s pomocí kalkulátoru je pouze orientační a poplatný zejména současným (srpen 2009) cenám paliv na trhu. V každém případě však poskytuje základní přehled o provozních nákladech jednotlivých druhů vytápění.

### **Investiční kalkulace velkých instalací**

U velkých projektů je kalkulace návratnosti investic složitým procesem. Kromě výše zmíněných faktorů, majících vliv především na investory v individuální bytové výstavbě, jsou hodnoceny další důležité aspekty. Vytváří se série modelů analyzujících různé varianty technického řešení a financování.

Častým vlivem, který působí v rozhodovacím procesu, může být například reklama nebo požadavek relativní energetické nezávislosti. Názorným příkladem, jak správně spojit moderní technologii vytápění s propagací ekologických stavebních aktivit, je objekt koncernové centrály společnosti Strabag v Bratislavě. Energeticky úsporně a vysoce moderně řešená budova je vytápěna pomocí 89 ks 80 metrových vrtů, které dodávají potřebnou energii pro tepelná čerpadla. Topný výkon je 550 kW, chladič 589 kW. Podle [55] je návratnost ve slovenských podmínkách odhadována na 8 až 15 let.

## **5. Vrt jako primární kolektor tepla**

### **5.1. Parametry vrtaného kolektoru**

Vrtaný primární kolektor je tvořen trubkami, které jsou vertikálně umístěny ve vyvrtaném otvoru. Volný prostor mezi stěnou otvoru a trubkami je následně vyplněn. Z hlediska provozu otopného systému jsou důležité tyto parametry:

- materiál, konstrukce a rozměr trubek primárního kolektoru,
- realizace vývrtu,
- zapouštění trubek (kolektoru),
- injektáž vrtu,
- kontroly kvality.

### **5.2. Materiál, konstrukce a rozměry trubek primárního kolektoru**

Na zapuštěné trubky jsou kladeny vysoké nároky. Musí jednak maximálně vyhovovat z hlediska přenosu tepla, jejich tepelný odpor musí být minimální. Dále musí mít vysokou materiálovou životnost, protože po instalaci a zainjektování ve vrtu jsou neopravitelné. Nesmí se deformovat a ztrácet původní parametry, přesto však musí mít jistý stupeň pružnosti, reagující na teplotní změny ve vrtu. Musí rovněž splňovat vysoké nároky na hygienickou nezávadnost a musí být inertní k horninovému prostředí, nesmí korodovat nebo podléhat materiálovým změnám. Důležitá je i jejich otěruvzdornost, zajišťující zapuštění do vrtu bez porušení stěn trubek, které by v budoucnu mohlo znamenat netěsnost. Ze stejného důvodu musí být počet spojů minimální.

Podstatným parametrem je cena. První instalace byly řešeny pomocí kovových trubek s vysokou tepelnou vodivostí (např. měděných). Z hlediska tepelného bylo toto technické provedení vynikající, ze všech ostatních hledisek však nevyhovovalo. Vývoj je v současné době ve stádiu využití tvrzeného polyetylénu (HDPE), který se dnes standardně využívá pro vodovodní nebo plynová potrubí. Poslední technickou novinkou je speciální tvrzené nebo dvouplášťové HDPE potrubí se zvýšenou odolností proti otěru. Polyetylén není z pohledu přenosu tepla ideální materiál, ostatní podmínky včetně nízké ceny však

splňuje téměř dokonale. V průmyslovém nasazení dnes převažují tři technická řešení. Standardní provedení je s trubkami z tvrzeného polyetylénu (HDPE 100) o průměru Js 32 ve dvouokruhovém provedení nebo z totožného materiálu o průměru Js 40 v jednookruhovém provedení. Stále častěji se objevuje varianta, která je využívána zejména u velkých montáží – HDPE 100, Js 40 ve dvouokruhovém provedení. Ta však vyžaduje větší průměr vrtu. Často se vkládají mezi (tj. mezi dvě nebo čtyři) potrubí různé centrační a fixační prvky, zabezpečující pravidelné rozmístění trubek po celé délce vrtu. HDPE potrubí je vyráběno v tlakových řadách 0,4 až 1,6 MPa.

Speciálním polyetylenovým dílem je patice instalovaného kolektoru, tj. spoj dvou nebo čtyř potrubí v nejhlubším místě vrtu. Technické řešení a následné provedení tohoto velmi důležitého dílu je často podceňováno. Pomineme-li různé nesériové podomácku zhotovené svařence, jsou dnes v Evropě nejrozšířenější dva systémy, lišící se technologií výroby patice. První z nich je tvořena odlitkem, navařeným natupo na hadice. Například distributor firma Gerotop s.r.o. dodává své kolektory již kompletní v požadované délce a provedení, zákazníci (vrtné firmy) neprovádí žádné další instalatérské práce. Systém je rozšířen především ve Švýcarsku, Německu, Francii.



*Obr. 10 Patice Gerodur [60]*

Druhá patice je zhotovena frézováním dvou dílčích obrobků z tvrzeného polyetylénu a jejich následným svařením. Na vzniklý díl se standardním způsobem navaří jedním koncem dvě nebo čtyři elektrotvarovky. V takovémto provedení je patice předána zákazníkovi, který ji před instalací do vrtu navaří na HDPE potrubí. Navařování je možno provádět buď přímo na vrtném pracovišti, nebo je možno si kolektory v požadovaném provedení připravovat dopředu dílensky. Reprezentantem tohoto technického řešení je



např. firma Geser Erdwärme GmbH & Co. KG. Používá se zejména v Německu a Rakousku.



*Obr. 11 Patice Geser 4 x 32 (foto autor)*

Konstrukce patice předurčuje způsob zapouštění a injektáže, které budou popsány dále. Samostatnou kapitolou jsou výsledky výzkumu a vývoje v oblasti výstroje vrtaných zemních kolektorů. Evropský výzkum směřuje ke koaxiálním koncentrickým kolektorům, které jsou výhodnější ve srovnání s klasickými U-trubicemi, zejména v lokalitách s horninami s vyšším koeficientem tepelné vodivosti. Takovým řešením je například výrobek s názvem GROUNDHIT, který bude testován v několika lokalitách v Evropě (Gleisdorf v Rakousku, Setubal v Portugalsku), [42] nebo produkt společnosti AMASOND, která se zabývá výrobou kompletní koaxiální modulové výstroje primárních okruhů. [54]



*Obr. 12 Koaxiální modul pro výstroj primárního kolektoru firmy AMASOND [54]*

### 5.3. Realizace vývrtu

Cílem realizace vývrtu je zhotovení otvoru v hornině, do kterého je následně nainstalován systém potrubí. Délka tohoto otvoru je zpravidla od 100 do 150 m, průměr maximálně do 150 mm. [39] Pro funkci tepelného čerpadla je rozhodující délka, která je předmětem dimenzování primárního okruhu. Průměr otvoru je důležitý, stanovuje totiž, kolik injektážní směsi bude nutno do prostoru mezi HDPE trubkami začerpat. Tepelný odpor materiálu, ze kterého je směs vyrobena, má na funkci hotového vrtu – primárního kolektoru – nezanedbatelný vliv.

Základní podmínkou pro instalaci HDPE trubek do vrtu je stabilita stěn vrtu minimálně do doby, než je HDPE potrubí zapuštěno a zainjektováno. V pevných a kompaktních horninách se problémy se stabilitou stěn prakticky nevyskytují. Naopak v komplikovaných geologických podmínkách, kdy se v limitním případě stěna vrtu bortí po celé délce, se mohou vyskytovat nestabilní, zvodnělé nebo bobtnavé polohy hornin. Rozhodujícím ukazatelem úspěšnosti zhotovení vývrtu je čas. Čím kratší je doba, potřebná k odvrtání otvoru o dané délce a průměru, tím je pravděpodobnost úspěšného dokončení otvoru větší. Vyplývá to z minimalizace času, po který horninový masiv může reagovat na dynamické změny, způsobené vrtáním. Mění se zde napětíové podmínky, hydrogeologické podmínky, hornina je namáhána výplachovou vodou nebo vysokým tlakem vzduchu (i vody) při použití rotačně příklepného vrtání.

Vrt je možno realizovat různými způsoby. Nejmodernější vrtné technologie, zohledňující výše uvedené požadavky na rychlost vrtání, využívají rotačně příklepné technologie vrtání za současného pažení. Typickým řešením je účelová vrtná souprava, speciálně vybavená pro vrtání, současné pažení, následné zapouštění HDPE kolektorů a jejich injektáž. Vrtání za současného pažení má rozhodující vliv na rychlost. [23] Vzhledem k tomu, že samotný proces vrtání není časově komplikován klasickými zdlouhavými technologickými operacemi pažení, lze i ve složitých geologických podmínkách dosahovat výkonu jeden kompletní vrt o délce 100 m na vrtnou soupravu denně. [22]



*Obr. 13 Dvojitá vrtná hlava spolu s těsnicí hlavou - vrtná souprava Nordmeyer DSB 2/10  
(foto autor)*

Při realizaci vývrtu je velmi důležitý řízený odvod vrtné drtě během vrtání a izolované uložení tohoto materiálu do těsných kontejnerů. Přestože je vrtná drť čistý přírodní materiál, může se teoreticky stát, že vrt zastihne nečekanou polohu kontaminované zeminy nebo podzemní vody. Dále je při samotné realizaci nutno zajistit dodržování pořádku na staveništi, což je důležité jednak z hlediska dodržování hygienických norem, jednak pro minimalizaci nákladů na likvidaci samotného vrtného pracoviště.



*Obr. 14 Realizace vrtných prací vrtnou soupravou Nordmeyer DSB 2/10  
(foto autor)*

## 5.4. Zapouštění HDPE potrubí

Operace zapouštění HDPE potrubí je klíčovým okamžikem, který rozhoduje o úspěšnosti celkové realizace. Musí mít rychlý a plynulý průběh, osádka vrtné soupravy musí být velmi dobře seštráná. Rizika při zapouštění jsou následující: mechanické porušení, nedosažení konečné hloubky, snížená průtočnost kolektoru.

Nebezpečí mechanického porušení primárně vzniká při manipulaci s HDPE potrubím při kompletaci a transportu kolektoru na vrtné pracoviště. Lze ho poměrně spolehlivě odstranit propracovaným a fungujícím několikanásobným systémem kontrol kvality, například v rámci systému řízení kvality podle standardů ISO řady 9000. Zodpovědní pracovníci při zjištění příznaků porušení kolektor jednoduše vyřadí a do vrtu se zapustí takový, který je bez vady.

Horší variantou je mechanické poškození kolektoru během zapouštění do vrtu. O takovémto ději nelze získat v průběhu prací žádnou informaci. Po zapuštění kolektoru je standardně prováděna zkouška těsnosti, která ukáže na možné fyzické porušení pouze tehdy, je-li závada příčinou netěsnosti kolektoru. Drobnější škrábance, vrypy nebo jiné typy mechanického porušení není možno zjistit. Zkušenostmi je však ověřeno, že mechanická porušení tohoto typu mohou mít vliv na životnost kolektoru z dlouhodobého pohledu. Oslabení stěn HDPE hadic nebo nežádoucí deformace paty kolektoru může být příčinou nefunkčnosti kolektoru v budoucnu. Je pak otázkou dojednaných smluvních podmínek mezi zhotovitelem prací a generálním dodavatelem nebo investorem, jak bude případná reklama řešena.

Nedosažení konečné hloubky při prvním zapuštění kolektoru signalizuje problém. Obecně je nežádoucí jakýkoliv pohyb HDPE výstroje ve vrtu, protože čím více se s kolektorem manipuluje, tím se významněji zvyšuje pravděpodobnost jeho mechanického porušení. Příčinou může být chyba osádky nebo rychlá změna geologických podmínek. Nedosažení konečné hloubky lze vyřešit dvojím způsobem. Kolektor se může z vrtu vytáhnout, vrt pročistit a prokalibrovat a pak se pokusit o novou úspěšnou instalaci do požadované hloubky. Častější řešení spočívá v přiznání skutečné dosažené hloubky zapuštění a provedení dodatečné metráže novými vrty. Druhá varianta je zpravidla jistější, levnější a rychlejší, limitujícím faktorem je dostatek prostoru pro případné nové vrty.

Technicky je zapouštění řešeno tak, že se HDPE kolektor odvíjí ze svitku, který je nasazen na buben. V podstatě se jedná o současné odvinutí předem připravených HDPE hadic z klubka do vrtu, jak ukazuje následující obrázek.



*Obr. 15 Celkový pohled na vrtné pracoviště – zapouštění HDPE kolektoru do vrtu (foto autor)*

Velmi důležitým úkolem je správné posouzení tlakových poměrů ve vrtu. HDPE trubky jsou dimenzovány na vnitřní přetlak. Vnější tlakové namáhání v kombinaci s namáháním tahovým není předmětem normativních zkoušek výrobku. Důvodem je skutečnost, že je prioritně určen k jinému použití – podpovrchové pokládce rozvodů tlakových médií, tedy do prostředí, kde nelze očekávat vnější přetlak o vyšších hodnotách. Naopak ve stometrovém vrtu je reálné očekávat maximální vnější přetlak vlivem kombinace hydrostatického a geostatického tlaku až do úrovně 2,0 MPa.

Pro vyrovnávání tlakových rozdílů se při zapouštění plní kolektory do určité míry vodou. Stupeň zaplnění musí být posouzen individuálně podle toho, zda se ve vrtu samotném vyskytuje voda a pokud ano, tak v jaké hloubce se nachází ustálená hladina. Geologické podmínky mají rovněž nezanedbatelný vliv. V prostředí zvodnělých písků bude zvolen jiný způsob zapouštění a injektáže než v podmínkách totální ztráty výplachu, např. v krasovém horninovém prostředí. Experimentálně byla zjištěna odolnost potrubí HDPE 100 Js 32 Jt 1,6, které bylo naplněno vodou, na vnější přetlak cca 3,0 MPa.

## 5.5. Injektáž vrtu

Kompletní HDPE potrubí, úspěšně zapuštěné volně do vrtu (v literatuře se rovněž nazývá smyčka, oblouk, U-trubice apod.), je namáháno tahovým napětím ve směru osy vrtu. Od zdroje tepla, kterého má v budoucnu využívat, je odděleno vrstvou vody, vzduchu nebo napadávkou horniny s nízkou tepelnou vodivostí. Tato mezivrstva vytváří mezi teplotnosnou kapalinou v potrubí a horninou poměrně významný tepelný odpor. K eliminaci obou těchto nežádoucích stavů slouží vzestupná injektáž stvolu vrtu po celé jeho délce.

Jako výplňový injektážní materiál se používá zpravidla cementobentonitová směs. Tepelná vodivost této hmoty je poměrně nízká, technologické vlastnosti a cena však znamenají velkou výhodu a jsou důvodem k jejímu všeobecně širokému praktickému použití. Příprava injektážní směsi se provádí přímo na vrtném pracovišti. Moderní vrtné soupravy mají injektážní linku odpovídajícího výkonu již jako součást technického vybavení. Směs se po namíchání a homogenizaci začerpává do vrtu pomocí injektážních trubek nebo hadic v závislosti na typu zapuštěného HDPE potrubí. U výrobků firmy Gerotop je injektážní hadice součástí výstroje a po injektáži zůstává ve vrtu. U ostatních výrobků tvoří injektážní trubka zpravidla nosič zapouštěného HDPE potrubí. Po dosažení konečné hloubky je postupně vytahována a přes ni je začerpávána injektážní směs pod tlakem.

Vzhledem k tomu, že injektážní směs na bázi bentonitu má nízkou tepelnou vodivost, existují různá aditiva, která tento důležitý parametr vylepšují. Principem je přimíchání materiálu s vysokou tepelnou vodivostí do začerpávané směsi. V praxi se používá jemně mletý křemenný písek – ten je například složkou směsi s obchodním názvem Stüwa Therm od společnosti Stüwa. Po praktických zkouškách a měřeních, realizovaných na Green Gas DPB, a.s., se ověřil údaj výrobce, že se tepelný odpor vrtu sníží o cca 10 %, což je velmi dobrý výsledek. Negativem je cena směsi, která je několikanásobně vyšší než cena standardního materiálu, a rovněž vysoce abrazivní účinky na technická zařízení, zejména pak na vysokotlaké injektážní čerpadlo. Po ukončení injektáže a zavadnutí směsi ve vrtu je důležitá kontrola stavu. Zpravidla dochází k poklesu hladiny směsi z důvodu pomalého dodatečného pronikání směsi do horninového prostředí. V tomto případě je nutno injektážní směs buď trubkami, nebo od ústí doplnit až po povrch terénu.

Injektáž stvolu má ještě jeden velmi důležitý aspekt. V případě, že se ve vrtu nacházejí vodonosné horizonty, polohy s tlakovou vodou, zvodnělé písky pod tlakem apod., je velmi důležité takovéto partie od sebe vzájemně izolovat. Pokud nejsou polohy od sebe odděleny, dochází ke křížové kontaminaci zvodnělých horizontů, tj. k přetokům mezi vrstvami směrem od vyššího vrstevního tlaku k nižšímu. V případě, že jeden z horizontů slouží např. jako vodní zdroj pro obyvatelstvo, je absolutně nezbytné zabránit mezivrstevním přetokům, a tím znečištění pitné vody. Situace bývá ještě komplikovanější v případech, kdy se v profilu vrtu navíc nachází horizont, který je znečištěn škodlivými látkami (např. NEL, PCB, atd..). Zodpovědně a kvalitně provedená izolace horizontů cementobentonitovou směsí je (kromě nákladného pažení) jedinou spolehlivou metodou, jak zaručit dlouhodobou životnost vrtu (statické namáhání), spolehlivost funkce (přenos tepla) a šetrnost k životnímu prostředí (zabránění křížovým kontaminacím).[22]

## **5.6. Kontrola kvality**

Vrtaný kolektor má jednu nevýhodu – pokud dojde k netěsnostem po instalaci, nelze ho již opravit. Pokud dojde při provozu otopného systému ke ztrátě tlaku nebo množství teplotnosné kapaliny a tato ztráta je prokazatelně ve vrtu, nezbyvá nic jiného, než realizovat vrt nový, což bývá vždy velký problém (nedostatek místa, terénní úpravy, nové stavby, ploty apod.).

Rozhodujícím cílem při realizaci je tedy zajištění dlouhodobé těsnosti. Postup vedoucí k dosažení tohoto cíle je systematická kontrola kvality. V celém procesu přípravy a instalace kolektorů je několik klíčových okamžiků, ve kterých je nutno kontrolu kvality provádět:

- přejímka hotových kolektorů od výrobce,
- přejímka HDPE hadic od výrobce,
- přejímka HDPE patic od výrobce,

- dílenská kontrola kvality,
- kontrola kvality před zapuštěním do vrtu,
- kontrola kvality po zapuštění do vrtu,
- kontrola kvality po injektáži vrtu.

V případě, kdy vrtařská firma kupuje hotové kolektory, si musí vytvořit soubor parametrů, které budou rozhodující pro jejich přejímku. V případě, že si kolektor vyrábí vlastními kapacitami, musí realizovat kontrolu vstupního materiálu – tj. HDPE potrubí a patic. Kontrola kvality HDPE potrubí probíhá primárně u výrobce. Nakupující, který bude z potrubí kompletovat výstroj vrtu, musí jednak ve smluvních technických a dodacích podmínkách přesně specifikovat své požadavky na kvalitu dodávky, jednak musí důsledně provádět vstupní technickou kontrolu při jejím předávání.

Totéž platí v případě dodávky patic. Samozřejmou součástí dodávky jsou příslušné certifikáty (kvalita, zdravotní nezávadnost apod.) a prohlášení o shodě výrobku. Dodavatelé, kteří mají systém řízení a kontroly kvality (např. podle norem ISO řady 9000) poskytují vyšší záruku než firmy bez certifikátu řízení jakosti. Kompletace kolektoru – tj. navaření patic na potrubí – může probíhat jak na vrtném pracovišti těsně před zapuštěním, tak předem dílensky.

Vzhledem k čistotě prostředí a faktoru času je nepochybně vhodnější si kolektory dopředu připravit dílensky. Při dílenské kompletaci je rovněž důležitá kontrola. Ta probíhá zpravidla vizuálně před navařením patice – zda není HDPE potrubí mechanicky poškozeno – a tlakovou zkouškou po navaření patice. Technologický postup navaření a následné tlakové zkoušky musí být jednoznačně stanoven a popsán závazným dokumentem. Navařování mohou provádět pouze vyškolení pracovníci. O provedené tlakové zkoušce a jejím výsledku musí být sepsán protokol. Kolektor musí být odpovídajícím způsobem zabezpečen proti poškození při transportu.

Po dopravení kolektoru na vrtné pracoviště jej osádka před zapuštěním vizuálně opět zkontroluje. Před zapuštěním dále provede kontrolu průtočnosti. Po zapuštění kolektoru provede kontrolu těsnosti a průtočnosti. Po injektáži a zavadnutí injektážní směsi se provede tlaková zkouška. O všem je proveden záznam a jsou vyhotoveny příslušné protokoly. Požadavky na kvalitu od smluvních partnerů vrtařských firem jsou dnes velmi přísné, u velkých staveb je nezřídka požadována záruka na bezchybný provoz kolektoru až 10 let.



## **6. Dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla**

## 6.1. Základní požadavky

Správné dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla jako primárního zdroje tepla je základní podmínkou funkčního otopného systému. Pro danou stavbu nebo objekt je nutno stanovit takový primární zdroj energie, který bude přesně vyhovovat projektovanému tepelnému režimu sekundárního okruhu. Roli hraje především velikost objektu a jeho tepelné ztráty, způsob vytápění, představy budoucích uživatelů o tepelné pohodě, zda je v objektu plánován bazén apod. V případě nedostatečné dimenze primárního okruhu bude energie k vytápění chybět. Výsledkem bude neuspokojivá ekonomika provozu otopné soustavy, protože chybějící energie bude dodávána zpravidla elektrokotly, které jsou součástí tepelného čerpadla. Provozovatel sice ušetří na investičních nákladech, ale bude mít neúměrně vysoké provozní náklady na otop, čímž se ztrácí hlavní výhoda vytápění tepelným čerpadlem.

V opačném případě, kdy bude primární okruh předimenzovaný, budou investiční náklady zbytečně vysoké a doba návratnosti investice dlouhá. Při daném výkonu tepelného čerpadla nebude přebytek primární energie využit. Požadavek na příkon primárního zdroje vyplývá z výkonu instalovaného tepelného čerpadla. Výkon tepelného čerpadla vychází z celkové tepelné potřeby objektu a stanovuje se na cca 70 až 85 % projektovaného maxima s tím, že po relativně krátkou dobu nejnižších venkovních teplot je dotop zajišťován vestavěným elektrokotlem (viz výše). Nejmodernější technická řešení topných soustav dnes pracují s monovalentním provozem systému, tj. bez dotopu elektřinou a bez zásobníků tepla. V tomto případě je správné nadimenzování vrtů o to důležitější.

Potřeba správného určení počtu, hloubek a rozmístění vrtů sloužících jako primárního kolektoru nízkopotenciálního zemského tepla nabývá na významu zejména při velkých instalacích. V posledních několika letech byly realizovány otopné systémy na úrovni stovek kW tepelného výkonu. Pro vytvoření primárního výměníku energie byly odvrtny na jedné lokalitě stovky vrtů. Jako příklad může sloužit Stockton, USA, kde bylo odvrtno 400 vrtů, nebo Oslo (Norsko), kde se stejných vrtů realizovalo 600. [8]

Rovněž na území České republiky byly uskutečněny srovnatelné projekty. Mezi největší patří systém tepelných čerpadel vytápějících sportovní halu v Opavě, kde je instalovaný výkon 455 kW, nebo stavba Auly + CIT VŠB - TU Ostrava s instalovanými téměř 700 kW výkonu.

Požadavky na horninové prostředí mohou být rozdílné. V případě menších instalací slouží horninové prostředí zpravidla jako zdroj tepla v zimě. Tento model vyžaduje velmi dobrou tepelnou interakci horninového prostředí v širším měřítku. Příkladem může být mocná šterková poloha s proudící vodou nebo rozpukaná zvodnělá masa granitu s horizontálním prouděním vody.

Druhým modelem jsou podzemní zásobníky tepla (Borehole Thermal Energy Storage, BTES), kdy je energie v období s přebytkem tepla ukládána do podzemí a v době potřeby tepla odtud čerpána. Tento způsob využití horninového prostředí je moderně využíván zejména v případech rozsáhlých instalací s velkými výkony. Často bývá kombinován s dodatečnými zdroji energie, jako například se solárními články, vyrábějícími v letním období velké množství energie, kterou je možno do horninového prostředí uskladnit a v zimním období vyčerpat. Pro druhý model jsou vhodné takové horniny, které mají minimální tepelnou interakci s okolním horninovým prostředím a jsou schopny dodanou energii zadržet, akumulovat na potřebnou dobu a v čase potřeby ji uvolnit. Příkladem mohou být homogenní neporušené granity s vysokou tepelnou vodivostí a vysokou měrnou tepelnou kapacitou.

Dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla v zásadě zahrnuje:

- stanovení hloubek a počtu vrtů,
- stanovení vzdálenosti mezi dvěma a více vrty,
- stanovení způsobu rozmístění tří a více vrtů,
- stanovení technických parametrů vrtů

## 6.2. Fyzikální základy

### Součinitel tepelné vodivosti hornin

Hustota tepelného toku  $\mathbf{q}$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) pevného materiálu je přímo úměrná jeho měrné tepelné vodivosti  $\lambda$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) a gradientu teplotního pole  $\mathbf{gradT}$  (K), jak vyjadřuje Fourierův zákon. [32]

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}T \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (11)$$

Měrná tepelná vodivost je základním faktorem při posuzování horninového prostředí z hlediska jeho tepelných vlastností.

## Tepelný odpor vrtu

Tepelný (v literatuře nazýván i teplotní) odpor vrtu  $R_b$  ( $\text{K} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ) je odpor mezi stěnou vrtu a teplotonosnou kapalinou uvnitř trubek, umístěných ve vrtu. Tepelný odpor vrtu záleží na konstrukci vrtu, na materiálu trubek a materiálu injektážní směsi. Jedná se tedy o parametr, který je možno technicky ovlivnit. Pro specifický tepelný tok  $q_s$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ) kolmý na stěnu vrtu je rozdíl teplot teplotonosné kapaliny  $T_f$  a stěnou vrtu  $T_b$  dán vztahem: [32]

$$T_f - T_b = R_b \cdot q_s \quad (12)$$

## Specifický tepelný tok

Specifický tepelný tok  $q_s$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ) představuje celkový tepelný výkon vrtu  $Q$  ( $\text{W}$ ) vztahený na jeden délkový metr vrtu o délce  $H$  (m) podle vzorce: [32]

$$q_s = Q/H \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (13)$$

## Měrné teplo, tepelná difusivita

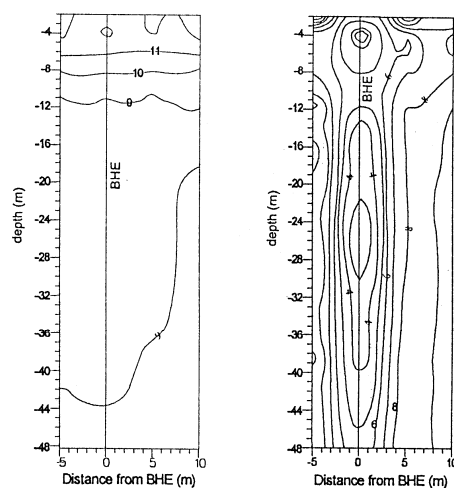
Měrné teplo  $c_p$  ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) a tepelná difusivita  $\alpha$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) souvisí podle vzorce:

$$\alpha = \lambda / \rho c_p \left[ \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \right] \quad (14)$$

kde  $\rho$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) je měrná hmotnost a výraz  $\tilde{c}_p$  ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ ) vyjadřuje objemové teplo neboli koeficient zásobnosti.

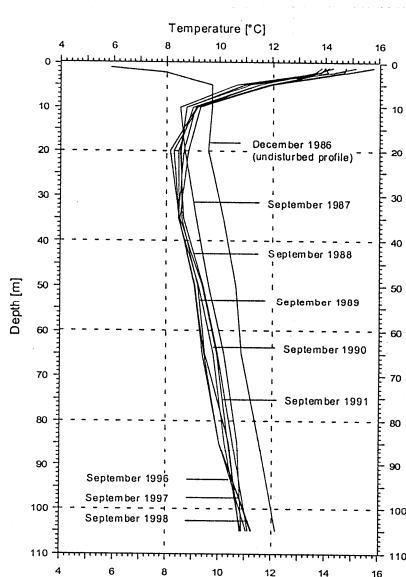
## Teplota neovlivněného masivu

Teplota masivu  $T_{\text{ug}}$  (K) je ideální přirozená teplota v horninovém masivu neovlivněná jakoukoliv činností (vrtání apod.). Pro zjištění průběhu teplotního pole v horninovém prostředí byla realizována měření teplot in situ. Bylo zjištěno, že při odběru tepla z vrtu mají izolinie teplot hornin v okolí vrtu tvar rotačních elipsoidů. Měření teplot bylo prováděno jednak ve vrtu vystrojeném pro tepelné čerpadlo, jednak ve speciálních měřicích vrtech. [35]



Obr. 16 Teplotní pole v neovlivněném (vlevo) a ovlivněném (vpravo) masívu [35]

*Depth - hloubka; Distance from BHE – vzdálenost od vrtu; BHE – Bore Hole Exchanger – vrt pro tepelné čerpadlo*



*Obr. 17 Průběh rozložení teplotního pole v okolí vrtu pro tepelné čerpadlo [35]*

*Depth - hloubka; Temperature - teplota; Undisturbed profile – průběh teplot v neovlivněném vrtu.*

### 6.3. Ovlivňující faktory

## Fyzikální vlastnosti horninového prostředí

V předcházející kapitole byly popsány základní fyzikální veličiny, mající vliv na kvalitu, životnost a spolehlivost horninového masivu jako zdroje tepla. Je nutno zdůraznit, že hodnoty zjištěné jak laboratorně, tak experimentálně nebo modelováním jsou vždy chápány pro jeden vrt nebo pro skupinu vrtů. Je zřejmé, že ve skutečnosti se fyzikální vlastnosti budou měnit zejména v závislosti na dané hornině a jejím minerálním složení, pórovitosti, stupni zvodnění, hloubce, tektonice a případných krasových jevech. Nejdůležitějšími hodnotami jsou součinitel tepelné

vodivosti  $\lambda$  ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) a teplota neovlivněného masivu  $T_{\text{ug}}$  (K). Pokud uvažujeme o zásobnících tepla, vstupují do výpočtů i ostatní citované fyzikální parametry horninového prostředí.

## Geologie a hydrogeologie

Znalost geologie a hydrogeologie dané lokality je nezbytná k tomu, aby bylo možno alespoň přibližně odhadnout rozhodující fyzikální parametry. Při menších instalacích je nezbytné během vrtání sledovat geologický profil a výskyt vody a postupně ověřovat, zda geologické a hydrogeologické předpoklady, na kterých byl projekt postaven, platí. Pokud tomu tak není, je nutno přijmout operativní rozhodnutí a projekt patřičně upravit. U velkých instalací je nutno parametry experimentálně ověřit ještě před projektováním, protože případná změna během výstavby již nemusí být z různých důvodů možná. Geologická a hydrogeologická situace musí být známa i z technologických a ekologických důvodů tak, aby se realizační firma vyhnula technickému riziku a případnému poškození životního prostředí.

## Umístění lokality, klima

Jak bylo uvedeno v předcházejících kapitolách, přísun tepla do horní části zemské kůry je zabezpečován z velké části Sluncem. Teplota neovlivněného masivu je do určité hloubky přímo úměrná sluneční energii dopadající na danou lokalitu. Tato sluneční energie je závislá na albedu a insolaci příslušného místa na Zemi.

## Vrtání a vystrojení vrtu

Průměr vrtání a vystrojení vrtu má vliv na tepelný odpor vrtu. Čím větší bude průměr, tím bude v mezikruží více injektážní směsi. Injektážní směs je z technických a ekonomických důvodů vyráběna na bázi cementu a bentonitu a její součinitel tepelné vodivosti je relativně nízký. Totéž analogicky platí i pro materiál HDPE, ze kterého jsou vyrobeny trubky a patice výstroje, součinitel tepelné vodivosti je  $0,43 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . [61] Čím je mezikruží menší, čím jsou HDPE trubky blíže stěnám vrtů a čím má injektážní materiál vyšší koeficient tepelné vodivosti, tím je tepelný odpor vrtu menší. Tepelný odpor vrtu je rovněž závislý na režimu proudění teplotonosné kapaliny v trubkách. Praxí bylo ověřeno, že při turbulentním proudění jsou hodnoty nižší. [8]

## Projektované požadavky na topný režim

Rozhodující je, zda se v daném případě projektuje zásobník tepla, tj. zda se počítá s ukládáním tepelné energie, získané v době jejího přebytku. Pokud ano, musí být zohledněny další tepelné fyzikální parametry horninového prostředí. Čím je vyšší tepelná vodivost horninového prostředí, čím nižší jeho tepelný odpor a čím vyšší objemové teplo, tím je prostředí pro zřízení tepelného zásobníku vhodnější. Naopak pokud je v geologickém profilu vrtu zastoupen šterkový kolektor s filtrující vodou, nemá smysl o zásobníku uvažovat. Na druhou stranu z hlediska získávání energie je systém vhodný.

Uvedené faktory neberou v úvahu omezení, která mohou vyplynout ze situace na povrchu, jako například velikost pozemku, který je k dispozici, existence ochranných pásem inženýrských sítí apod.

### 6.4. Postupy při dimenzování vrtů

V jednoduchých případech jsou pro stanovení hloubky, počtu a rozmístění vrtů využívány následující metody a jejich kombinace:

## Orientační znalost horninového prostředí z geologických a hydrogeologických map

Informace získané z mapových podkladů a související literatury slouží k předběžnému stanovení předpokládaného geologického profilu i k posouzení hydrogeologické situace. Výhodou je rychlost, nevýhodou pak relativně malá přesnost (zejména) kvartérních map pro příslušné místo, které je dáno v limitním případě jednoho vrtu jedním bodem v terénu. Dalším problémem bývá zkušenost interpretátora, která je většinou úzce svázaná s prostředím, ve kterém se dlouhodobě orientuje. Celkově lze shrnout, že pokud vyhodnocuje podmínky odborně způsobilá osoba, které je situace na lokalitě detailně známa, má metoda v případě malých instalací své opodstatnění.



## **Zkušenost z předcházejících instalací v blízkém okolí**

V případě, že je provozováno tepelné čerpadlo s vrtem někde v blízkosti uvažované stavby, je možno použít zkušenosti z provozu a zohlednit je při projektování primárního systému. Podmínkou je, že geologické a hydrogeologické podmínky budou pro obě místa stejné nebo velmi podobné. Riziko je v tom, že zejména hydrogeologie horninového prostředí se může zcela nečekaně změnit, a tím i podstatně ovlivnit provoz topení v novém objektu.

## **Jednoduché kalkulátory**

V některých odborných materiálech společností prodávajících nebo montujících tepelná čerpadla jsou uveřejněny jednoduché kalkulační postupy, s jejichž pomocí je možno určit potřebnou metráž primárního kolektoru. Kalkulace většinou pochází od výrobců tepelných čerpadel. Ti vycházejí z dlouhodobých průměrů ve známém regionu (např. IVT ve Švédsku). Riziko je právě v odlišných podmínkách lokalit, chyba může být významná. Je nutné zmínit, že dnes se tento způsob používá velmi ojediněle.

## **Testy a modely**

Ve složitých případech a při velkých instalacích se používají různé metody, jimiž se zjišťují rozhodující fyzikální parametry horninového prostředí. Mezi ně patří:

- součinitel tepelné vodivosti horninového prostředí,
- tepelný odpor vrtu,
- teplota neovlivněného masivu,
- hydrogeologické a geologické poměry lokality.

Za tímto účelem se realizují testovací vrty, zjišťují se hydrogeologická a geologická data, provádí se laboratorní zkoušky a polní testy. Výsledné hodnoty slouží jako podklad pro modelování průběhu teplotních polí v definovaném místě za definovaných okrajových podmínek. Na základě zjištěných dat a zpracovaných modelů je následně možno pomocí

speciálních programů dimenzovat primární kolektor, který bude v maximální možné míře vyhovovat požadavkům na provoz sekundárního okruhu vytápění.

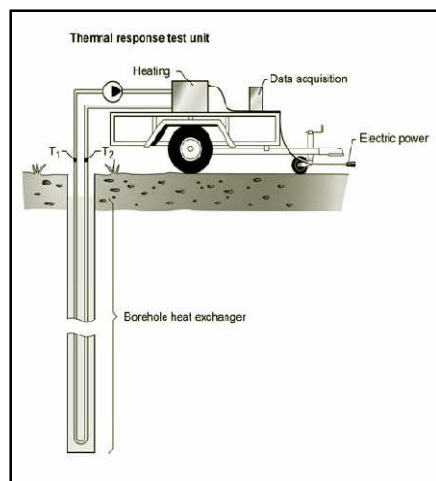
K nejrozšířenější metodě stanovení rozhodujících parametrů patří „Test teplotní odezvy“ (Thermal Response Test). Mezi velmi užitečné nástroje pro vyhodnocení naměřených dat pak řadíme specializované počítačové programy, jako například EED 2 (Earth Energy Designer 2) nebo GLD 5 (Ground Loop Design 5.1), s jejichž pomocí je možno relativně jednoduchým způsobem stanovit rozhodující parametry vrtů – tj. metráž, hloubky, z toho vyplývající počet vrtů, vzdálenosti mezi nimi a následně jejich rozmístění.

Kromě těchto nejrozšířenějších metod se používají rovněž laboratorní a polní zkoušky odlišných typů, provozně se ověřují jednodušší zařízení pro měření rozhodujících parametrů přímo ve vrtu. Například na lokalitě Wiesental v blízkosti Zurichu bylo testováno malé bezdrátové měřicí zařízení pro zjišťování teploty a tepelných vodivostí in situ. [34]

## **6.5. Test teplotní odezvy**

### **6.5.1. Historie a současný stav**

Myšlenku měření teplotní odezvy (Thermal Response Test, TRT) ve vrtech pro tepelná čerpadla in situ poprvé formuloval a představil Mogens v roce 1983, který navrhoval systém s chlazením teplonosné kapaliny. První zařízení tohoto typu byla nezávisle vyvinuta na Lulea Technical University ve Švédsku (Eklof a Gehlin) v roce 1996 a na Oklahoma State University v USA (Austin) v roce 1998. [32] Obě zařízení vycházela z konceptu Mogensena, teplonosná kapalina však nebyla chlazena, ale zahřívána.



*Obr. 18 Zařízení pro TRT [8]*

*Thermal Response Test Unit – měřicí jednotka pro TRT; Data Acquisition – sběr dat; Heating - topení; Borehole heat exchanger – vrtaný výměník; Electric Power – přívod elektrické energie*

Podobná zařízení byla později vyvinuta s malými odchylkami v několika dalších zemích. V Německu byla první aparatura představena v roce 1999 a byla použita pro praktický výpočet rozsáhlé instalace. Ve Švýcarsku a Norsku byla obdobná zařízení vyvinuta a používána od roku 1998. [8,32]

V Holandsku byla vyvinuta aparatura odlišného typu, kde je místo elektrokotle nainstalováno reverzibilní tepelné čerpadlo. Touto testovací jednotkou je možno přepínat mezi čerpáním a utrácením tepla. Původně bylo celé zařízení, ať bylo od kteréhokoliv výrobce, namontováno na automobilovém přívesu. Poslední verze vyrobené například ve Švýcarsku jsou již umístěny do malých kontejnerů velikosti většího kufru.

Testy teplotní odezvy jsou dnes rozšířeny v Evropě, Severní Americe a Východní Asii. Metoda našla také uplatnění v Jižní Americe, kde byl první test proveden v létě roku 2003. Zařízení jsou aktivně využívána v Kanadě, Chile, Číně, Německu, Holandsku, Norsku, Jižní Koreji, Švédsku, Švýcarsku, Turecku, Anglii, Spojených státech. [32]

V České republice byl proveden první test teplotní odezvy v rámci projekční přípravy na instalaci primárního kolektoru pro vytápění Auly + CIT VŠB – TU Ostrava v roce 2005. Na základě zkušeností z provedených měření byla na VŠB – TU Ostrava pořízena a v současné době je provozována první aparatura na měření TRT v České republice.

### 6.5.2. Popis zařízení

Jak již bylo uvedeno, technické provedení zařízení k realizaci TRT se liší podle země, kde bylo vyvinuto a vyrobeno. Většina zařízení pracuje na základě zahřívání nebo ochlazování hornin prostřednictvím teplotnosné kapaliny, která cirkuluje vrtem. Běžnější jsou ta zařízení, která pracují se zahříváním média. Při testu se provádí měření odezvy teploty – tj. měří se teplota ohřáté kapaliny vstupující do vrtu a teplota ochlazené kapaliny vystupující z testovaného vrtu.

Hodnoty jsou základem pro výpočet tepelných vlastností hornin, především koeficientu tepelné vodivosti, a pro následné projektování primárního výměníku. Testovací aparatura je vybavena veškerým potřebným zařízením k realizaci testů – tj. připojením na vrt, oběhovým čerpadlem k zajištění cirkulace teplotnosné kapaliny, nádobou s kapalinou a elektrickým kotlem.



*Obr. 19 Ukázka TRT aparatury při měření na lokalitě Aula+CIT VŠB – TUO [foto autor]*

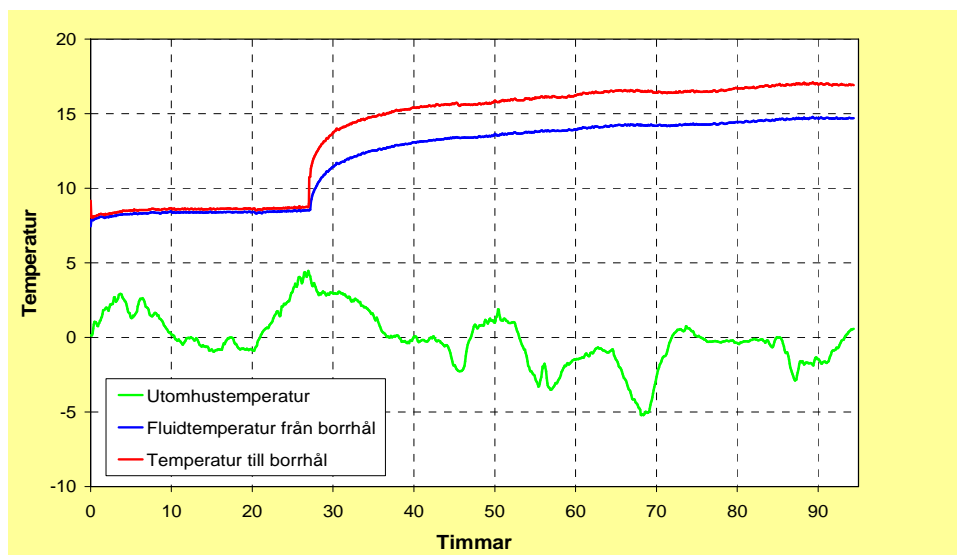
Samotný test může být proveden na vrtu, který bude součástí budoucího primárního výměníku, nebo na vrtu, který je ve stejných geologických podmínkách a má stejnou hloubku a typ vystrojení jako budoucí vrt v kolektoru. Postup testování se sice případ od případu nepatrně liší, generelně je však možno popsat zásadní metodiku následujícím způsobem (popis se vztahuje na systém s nuceným ohříváním):

1. Sestavení zařízení včetně kalibrační a měřicí aparatury, umístění kompletu co nejblíže k testovanému vrtu, napojení na vrt a na zdroj elektrické energie.
2. Naplnění okruhu roztokem, odvzdušnění.
3. Nastavení úrovně průtočného množství kapaliny a tepelného výkonu elektrokotle. Průtok kapaliny by měl být takový, aby zajišťoval turbulentní proudění v okruhu po celou dobu trvání testu. Tepelné zatížení by se mělo co nejvíce blížit projektovanému režimu tak, aby průběh teplot na vstupu a výstupu z vrtu byl co nejblíže projektovaným hodnotám. Projektované hodnoty musí být vypočteny na základě odhadu koeficientu tepelné vodivosti hornin.
4. Aktivace sběru a dálkového přenosu dat.
5. Cirkulace kapaliny bez zahřívání, zjištění neovlivněné teploty horninového masivu jako průměrné hodnoty pro celý vrt.
6. Zapnutí ohřívání, přísun tepelné energie musí být co nejstabilnější, tzn. pokud možno bez přerušení funkce elektrokotle.
7. Provedení samotného testu, průběžné měření teplot na vstupu a výstupu z vrtu. Tepelné zatížení musí trvat minimálně 50 hodin, zařízení musí být pravidelně kontrolováno.
8. Vypnutí aparatury, rozebrání a vyčištění. Ukončení testu.

Během provádění měření musí být maximálně eliminovány externí vlivy, jako například sluneční záření, ochlazování deštěm apod. Potrubí vedoucí od zařízení k vrtu musí být dostatečně izolována.

Pro některé vyhodnocovací metody je nezbytné zjistit i hodnotu neovlivněné teploty masivu. Ta může být změřena jako průměrná hodnota pro celý vrt. Před tím, než se zahájí zahřívání teplotosné kapaliny, je možno cirkulovat kapalinou v okruhu do doby, než se teplota ustálí a tuto hodnotu pak brát v úvahu. Bylo zjištěno, že takto získaná teplota je vyšší než skutečná teplota v horninovém masivu. Příčinou je teplo, které se uvolňuje při tření během provozu cirkulačního čerpadla. Efekt se projeví již po dvaceti minutách

cirkulace. [32] Neovlivněnou teplotu masivu lze změřit i jiným způsobem, například přímo v trubkách výstroje, kdy je měřicí přístroj včetně záznamu dat zapuštěn do vrtu. Během samotného testu se měří teploty na vstupu a výstupu z vrtu, teplota okolního vzduchu a elektrická energie nutná pro ohřev.



Obr. 20 Příklad záznamu z měření [11]

*Utomhustemperatur* – teplota vnějšího vzduchu; *Fluidtemperatur från borrhål* – teplota kapaliny vystupující z vrtu; *Temperatur till borrhål* – teplota kapaliny vstupující do vrtu; *Temperatur* - teplota; *Timmar* – čas v hodinách

### 6.5.3. Vyhodnocování dat

#### Analytické metody

Tepelná vodivost hornin a tepelný odpor vrtu nejsou měřeny přímo, hodnoty musí být odvozeny z měření během TRT. Pro vyhodnocování se převážně používají dva modely tepelných toků, a to model liniového zdroje tepla (Ingersoll a Plass, 1948) a model válcového zdroje tepla (Carslaw a Jaeger, 1947). [32] Ve vyhodnocovací praxi se používá zjednodušený model liniového zdroje, který je popsán dále.

Předpokládáme, že přestup tepla v horninovém prostředí v širším okolí vrtu je čistě kondukční, je pouze v radiálním směru a podél osy vrtu je konstantní. V tomto případě může být vrt chápán jako liniový zdroj tepla v homogenním prostředí. Teplota je funkcí času  $t$ , vzdálenosti (poloměru)  $r$  od liniového zdroje s konstantním tepelným tokem  $q$ .

Rovnice přibližně vyjadřuje průběh teplotního pole v okolí vrtu jako liniového zdroje při jeho zahřívání během TRT. Teplota kapaliny je pak vypočtena pro vzdálenost  $r=r_b$ , která se rovná poloměru vrtu se zohledněním tepelného odporu vrtu  $R_b$ . [8]

$$T(t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \left( \ln \left( \frac{4\alpha t}{r_b^2} \right) - \gamma \right) + qR_b + T_{ug} \quad \text{pro } t \geq \frac{5r_b^2}{\alpha} \quad (15)$$

$T(t)$  - teplota ve vzdálenosti  $r_b$  od zdroje v čase  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$q$  - specifický tepelný tok ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ), tj. množství tepla na jeden metr vrtu,

$\lambda$  - koeficient tepelné vodivosti horninového prostředí ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ),

$r_b$  - poloměr vrtu (m),

$\alpha$  - difusivita ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ),

$t$  - čas (s),

$T_{ug}$  - neovlivněná teplota horninového prostředí (K),

$\gamma$  - Eulerova konstanta,

$R_b$  - tepelný odpor vrtu ( $\text{K} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ).

Ze změřené celkové dodané tepelné energie  $Q$  (W) a znalosti délky vrtu lze jednoduše vypočítat specifický tepelný tok  $q$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ):

$$q = \frac{Q}{H} \left[ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \right] \quad (16)$$

V průběhu testu je měřena vstupní a výstupní teplota teplotnosné kapaliny a z těchto teplot je vypočtena střední hodnota teploty v daném čase. Nejjednodušší způsob vyhodnocení je vynesení hodnot naměřených středních teplot v závislosti na času v logaritmickém grafu. Vývoj střední teploty je lineárně závislý na logaritmu času a směrník  $k$  této přímky určuje efektivní koeficient tepelné vodivosti  $\lambda_{ef}$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ), zahrnující vliv podzemní vody, injektážní směsi apod.

## Matematické modelování

Pro vyhodnocování údajů z TRT se rovněž používají metody matematického modelování. Princip spočívá ve výběru sady vstupních parametrů (např. tepelné vlastnosti horninového prostředí) a zpracování několika modelů při různých variantách odhadů těchto

vstupních dat. Model zároveň dopočítává hodnoty, které byly předtím změřeny testem teplotní odezvy. Ten z modelů, který se nejvíce shoduje s naměřenými hodnotami TRT, se považuje za nejvěrohodnější i z hlediska hodnot ostatních.

Výhody tohoto přístupu jsou ve větší přesnosti definice geometrie vrtu a zejména v možnosti zpracovat více variant. Nevýhodou je časová náročnost a složitost při zadávání velkého množství dat. Základním pravidlem je zásada, že vyhodnocování TRT musí být zpracováno stejnou koncepční metodou, jaká bude použita pro budoucí projektování celého systému primárního výměníku.

### **Srovnání modelů**

V literatuře [8] bylo popsáno vyhodnocení čtyř možných způsobů vyhodnocení shodných sérií naměřených dat TRT:

- analytický model liniového zdroje,
- analytický zjednodušený model liniového zdroje,
- analytický model válcového zdroje,
- numerický model metodou konečných rozdílů.

Zjednodušený analytický model byl pro praktické využití vyhodnocen jako nejvhodnější, zejména díky dosažené přesnosti a rychlosti výpočtu. Numerický model byl doporučen tam, kde se jedná o složitější případy a různé zdroje zemského tepla.

#### **6.5.4. Současný stav TRT**

Od doby vzniku zařízení pro testy teplotní odezvy v roce 1995 se provádění samotných testů posunulo od počátečních ojedinělých pokusů až ke dnešnímu standardnímu a praktickému využití u rozsáhlejších staveb. Bylo zpracováno několik případových studií, které potvrdily spolehlivost dosažených výsledků TR testů a zároveň odhalily chybné původní teoretické odhady. V souvislosti s rozvojem počtu a typů instalací tepelných čerpadel s vrtanými primárními výměníky vzrůstá požadavek na rychlejší, jednodušší a levnější TR testy. Při instalaci, kdy se počítá s více než 10-ti vrtly, je doporučeno v předprojektové fázi tento test realizovat. Důvodem je prokázaná zkušenost, že odhadované vstupní parametry horninového prostředí jsou zpravidla očekávány lepší, než ve skutečnosti jsou. Naopak v případě, kdy se testem prokáže, že podmínky v podzemí



jsou lepší než předpokládané, je možno primární kolektor dimenzovat v menším rozsahu a dosáhnout tím významných úspor. [41]

## **6.6. Počítačové programy pro projektování primárních kolektorů**

Jak vyplývá z předcházejících částí této kapitoly, čím je připravovaná instalace větší, tím důležitější je pečlivá a detailní projektová fáze výstavby primárního výměníku. Pro případy rozsáhlých instalací se pro dimenzování vrtů využívají počítačové programy, které jsou speciálně pro tento účel vytvořeny a jsou komerčně dostupné.

V zásadě platí, že tam, kde je účelné provést test teplotní odezvy, je stejně tak žádoucí zpracovat projekt primárního kolektoru pomocí dostupných programů. Rovněž v případech velkých instalací, kdy již známe tepelné vlastnosti horninového prostředí a není třeba realizovat TR test, je účelné zpracovat příslušný model. Model umožní projektantovi stanovit optimální parametry primárního výměníku, a to zejména pro:

- typ výstroje vrtů,
- celkovou metráž kolektoru,
- hloubky jednotlivých vrtů,
- rozmístění vrtů.

Výstupy z modelování jsou podkladem pro zpracování projektu primárního kolektoru a ovlivňují klíčové parametry celého projektu vytápění pomocí tepelného čerpadla. Mají vliv především na posouzení:

- technické a technologické realizovatelnosti vrtných prací,
- doby provádění vrtných prací,
- nákladů na vrtné práce,
- nákladů na instalaci celého otopného systému,
- celkové ekonomické návratnosti otopného systému.

Modely umožňují jak projektantovi, tak realizátorovi stavby, investorovi a budoucímu uživateli posoudit v komplexním pohledu všechny výhody a případná rizika daného technického řešení.

Mezi osvědčené počítačové programy, umožňující uvedené výpočty, patří software s názvem Earth Energy Designer 2 (EED 2), který vyvinuli v Evropě autoři Dr. Göran Hellström a Dr. Burkhard Sanner, a Ground Loop Design vision 5.1 (GLD 5.1), vyvinutý v USA společností Gaia Geothermal LLC.

#### **6.6.1. Earth Energy Designer 2**

Program byl vytvořen na základě vývoje, který podporovala švédská Rada pro výzkum stavebnictví (Swedish Council of Building Research) ve Stockholmu a německé Ministerstvo pro vzdělávání, vědu, výzkum a techniku (BMBF) v Bonnu. Rovněž byl podporován ze strany Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA. Program je postaven na odborných znalostech skupiny specialistů z univerzitního a vědeckého prostředí, a to jak z Evropy, tak i z USA (Hellström, Sanner, Eskilson, Claesson, Blomberg). [14]

#### **Popis programu**

Pomocí programu je možno dimenzovat primární výměníky pro tepelná čerpadla typu země – voda v případech, kdy je kolektor tvořen hlubinnými vrtly. Program umožňuje dimenzování vrtaného kolektoru pro režim čerpání tepla z horninového prostředí a rovněž pro režim ukládání tepla do podzemních horninových struktur.

Základní algoritmus programu vychází z tzv. g-funkce, která byla definována pomocí numerického modelování a vyjadřuje vztah mezi hloubkami vrtů a jejich rozmístěním. Program pracuje se vstupními daty, která se týkají vnější teploty, tepelných požadavků vytápěného objektu, horninového prostředí, vstrojení vrtů, teploty kapaliny a jejího proudění v primárním okruhu. Výstupem je následovně celková metráž, rozmístění a hloubky vrtů, případně teplota teploty kapaliny kolektoru. Program pracuje s maximálním hloubkovým dosahem vrtů 200 m. Výstupy jsou ve formě tabulek a grafů, které je možno exportovat do tabulkových kalkulátorů a dále s nimi pracovat podle potřeby. Software umožňuje s pomocí dialogových oken s databázemi vstupních parametrů rychlý výpočet ve dvou možných režimech:

- při zvoleném rozmístění vrtů o daných hloubkách vypočte program teplotu nemrznoucí směsi v kolektoru;
- pro zvolené rozpětí teplot nemrznoucí směsi v kolektoru vypočte program hloubky vrtů při jejich daném rozmístění.

V praxi se využívá zejména varianta výpočtu hloubek vrtů. Software EED 2 disponuje řadou databází, z nichž mezi nejdůležitější patří:

- zemský tepelný tok na různých místech v Evropě,
- průměrné povrchové teploty na různých místech v Evropě,
- tepelná vodivost různých typů hornin,
- tepelná vodivost různých výplní vrtů,
- 2 465 g-funkcí, vyjadřujících závislost hloubek vrtů na jejich rozmístění,
- 308 typů různých uspořádání vrtů,
- fyzikální vlastnosti teplotnosné kapaliny v kolektorech,
- fyzikální vlastnosti různých materiálů kolektorů.

Vstupní parametry, které projektant zadává do výpočtu:

- tepelná vodivost hornin v místě uvažovaného primárního kolektoru,
- průměrná povrchová teplota v místě stavby,
- typ injektážní směsi ve vrtu,
- celkový teplotní odpor  $R_b$  mezi stěnou vrtu a teplotnosnou kapalinou v kolektoru,
- topný výkon tepelného čerpadla,
- technické parametry objemových čerpadel, vztažené na jeden vrt,
- typ teplotnosné kapaliny,
- roční energetickou spotřebu daného stavebního objektu v měsíčních intervalech v kategoriích topení a chlazení,
- špičky energetické spotřeby v jednotlivých měsících pro topení i chlazení včetně odhadu doby jejich trvání.

Výsledkem jsou zpravidla hloubky vrtů při daném rozmístění. Vzhledem k tomu, že program umožňuje změny zadávacích parametrů pro jeden určitý případ, je možno prošetřit citlivost změny jednotlivých vstupů na hloubky vrtů. Na základě provedené analýzy [36] byly zjištěny následující závislosti:

Vliv parametrů, které není možno ovlivnit:

- tepelná vodivost horninového prostředí má na stanovení hloubek vrtů významný vliv;
- průměrná teplota na povrchu terénu má na stanovení hloubek vrtů významný vliv;
- zemský tepelný tok nemá na dimenzování hloubek vrtů výrazný vliv.

Vliv parametrů, které je možno ovlivnit:

- režim toku teplotnosné kapaliny má vliv, turbulentní proudění zabezpečuje úsporu 10-20 % na celkové metráži;
- vzdálenost mezi vrty a tím i jejich případná interference má vliv, tím významnější, čím je instalace větší;
- rozmístění vrtů má vliv, s ohledem na možné vzájemné ovlivňování je teoreticky neoptimálnější liniový model;
- limitní minimální teplota nemrznoucí směsi (teplotnosné kapaliny) má významný vliv;
- typ injektážní směsi má vliv na celkový teplotní odpor vrtu, s poklesem odporu je možno vrty zkrátit.

Program EED 2 je v současné době standardně používán pro rozsáhlejší instalace primárních kolektorů tepelných čerpadel systémů země-voda. Jeho výstupy byly ověřeny v praxi na takových stavbách, jako Aula+CIT v Ostravě. Lze konstatovat, že správnost vypočtených údajů prověří skutečný provoz systému až v delším časovém intervalu, nejlépe deset a více let. Přesto je však možno potvrdit, že na základě dosavadních zkušeností je tento software velmi spolehlivým nástrojem při řešení složitých projekčních úloh při dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla.

### **6.6.2. Ground Loop Design**

Program byl vyvinut komerční společností Gaia Geothermal LLC s podporou týmu fyziků a environmentalistů z UC Berkeley a Johns Hopkins University v USA. Program umožňuje výpočty při dimenzování následujících typů primárních kolektorů tepelných čerpadel:

- vertikální zemní výměníky (vrtané kolektory) pro systémy země-voda,
- horizontální zemní výměníky (kopané kolektory) pro systémy země-voda,
- horizontální vodní výměníky (kolektory v rybnících a jezerech) pro systémy voda-voda.

Pomocí programu je možno zadávat vstupní horninové parametry buď jako blokové (tj. pro celý vrt jeden parametr), nebo jako zónové (pro každou zónu v profilu vrtu zvlášť). Dále program umožňuje, podobně jako EED 2, výpočty ve dvou režimech. Režim konstantní teploty umožňuje projektantovi při dané výstupní teplotě teplotonosné kapaliny stanovit délku vrtů. Režim konstantních délek vrtů počítá při dané hloubce vrtů výstupní teplotu. Při zadávání parametrů se postupuje obdobně jako u EED 2. Vstupní požadavky na energetickou zátěž vytápěného objektu jsou ve stejném členění. Navíc je databáze rozšířena o různé typy tepelných čerpadel, takže projektant může v této fázi zvolit i vhodné strojní zařízení kotelny.

## **7. Podzemní zásobníky tepelné energie**

### **7.1. Účel podzemních zásobníků tepelné energie**

O podzemních zásobnících energie (Underground Thermal Energy Storage, UTES) se hovoří v posledních letech zejména ve spojení s problematikou využívání ekologicky čistých zdrojů energie, tj. hlavně energie Slunce a energie Země. Důležitým motivem snahy o efektivní skladování energie je také stále častější využívání klimatizace objektů přes letní sezónu, kdy je při klasickém technickém řešení teplo mařeno ve venkovní atmosféře. Smyslem podzemních zásobníků tepla je [29, 66]:

- vytvoření pružné kapacity na vykrývání sezónních výkyvů ve spotřebě i výrobě,
- umožnění využití sezónních zdrojů zelené energie, zejména využití sluneční energie v létě k výrobě tepelné energie a uskladnit ji pro využití v zimě,
- využití skladovací kapacity pro ukládání tepla z klimatizace v letním období,

- využití skladovací kapacity pro případné uložení odpadního tepla z nepravidelně využívané technologie.

Základní funkce podzemních zásobníků energie tedy spočívá v tom, že umožňují „posunout“ vyrobené teplo a chlad k využití na správnou dobu a správné místo a dovolují efektivněji využívat obnovitelných zdrojů energie.[29]

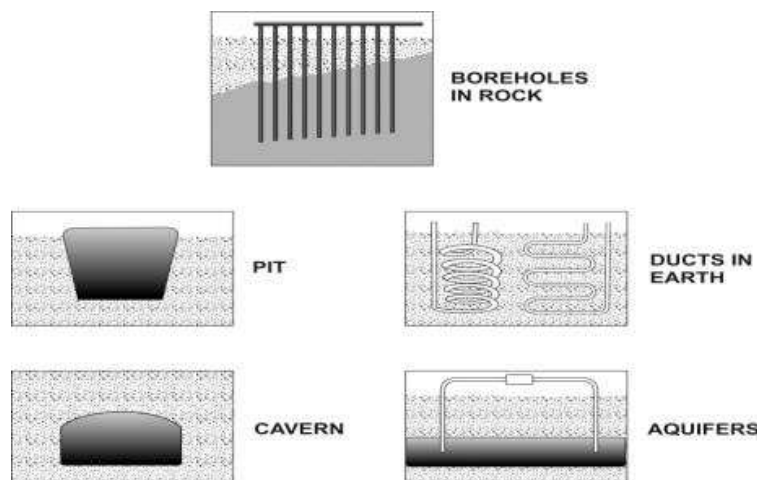
Podzemní zásobníky jsou vybudovány v rámci komerční i občanské výstavby na mnoha místech v Evropě i Severní Americe. Například v Holandsku již bylo realizováno přes 500 takových projektů.[15]

## 7.2. Typy podzemních zásobníků tepelné energie

Základní typy podzemních zásobníků jsou:[29]

- akvíferové zásobníky tepelné energie (Aquifer Thermal Energy Storage, ATES),
- vrtané zásobníky tepelné energie (Borehole Thermal Energy Storage, BTES),
- kavernové zásobníky tepelné energie (Cavern Thermal Energy Storage, CTES),
- zemní zásobníky potrubní (Ducts in Soil),
- zemní zásobníky jámové (Pit Storage).

Principy jednotlivých technologií jsou demonstrovány na následujícím obrázku.



Obr. 21 Základní principy podzemního uskladňování tepelné energie [29]

*Boreholes in rock – vrty v hornině; Pit – jáma; Cavern – kaverna; Ducts in Earth – potrubí v zemině; aquifers – akviféry*

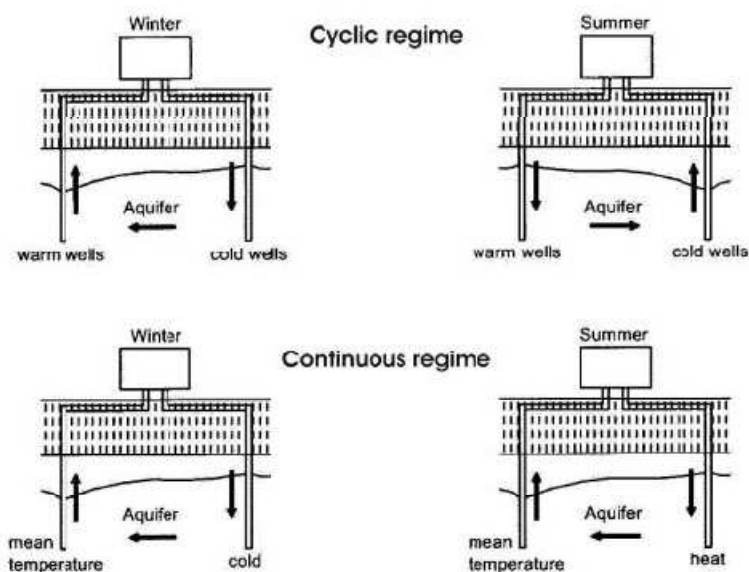
### **Akviférové zásobníky**

U akviférových zásobníků je tepelná energie ukládána do podzemní vody, která je obsažena v pórech hornin. Podmínkou je vysoká pórovitost horniny, vysoká průtočnost mezi vrty a minimální přirozené proudění podzemní vody v kolektoru. Ukládání a čerpání tepelné energie se provádí ve dvou režimech.

V cyklickém režimu je v létě vtláčecím vrtem injektována teplá voda do akviféru a čerpacím vrtem je stejné množství studené vody čerpáno z akviféru zpět na povrch. V zimním období se funkce vrtů vymění, čerpání teplé vody se zahájí z vrtu, který v létě sloužil jako vtláčecí. Oba dva vrty musí být vybaveny ponornými čerpadly. Při cyklickém režimu je možno pracovat s rozdílnými teplotami ve srovnání s přirozenou teplotou vody v akviféru, výstupní teploty čerpané vody mohou být významně vyšší. [29]

V kontinuálním režimu jsou funkce vrtů stejné pro ukládání i čerpání energie. Čerpání probíhá neustále z jednoho vrtu. Z čerpané větve se teplo v zimě odebírá, předává se k využití na povrchu a vtláčecím (zasakovacím) vrtem se ochlazená voda dostává zpět do akviféru. V létě je čerpaná studená voda ze stejného čerpacího vrtu a ohřátá se vtláčí do akviféru opět vtláčecím vrtem. Z hlediska vystrojení vrtů je nezbytné pouze jedno ponorné čerpadlo v čerpacím vrtem. Při kontinuálním režimu je výstupní teplota z čerpacího vrtu blízko hodnotě přirozené teploty akviféru.





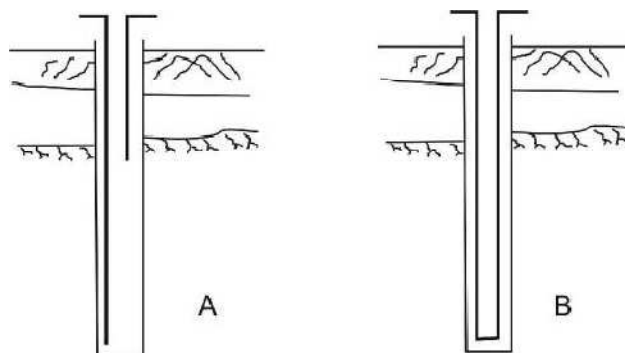
Obr. 22 Základní funkce akviférových zásobníků tepelné energie [29]

*Cyclic regime – cyklický režim; winter - zima; Summer - léto; warm wells – vrty pro čerpání a vtláčení tepelné energie; Aquifer - akvifér; Continuous regime – kontinuální režim; cold - chlad; heat - teplo; mean temperature – průměrná teplota*

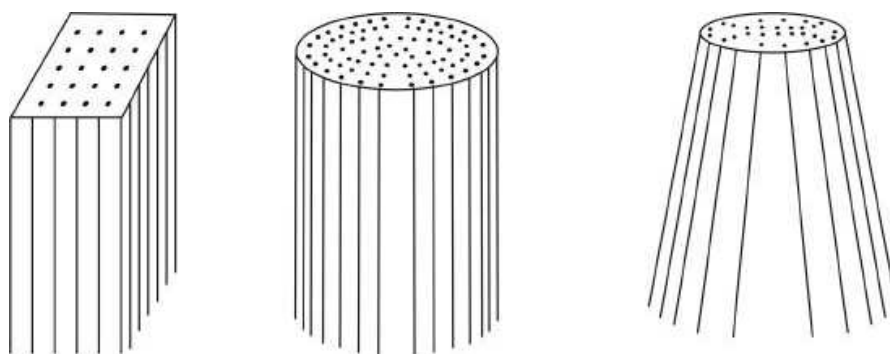
### Vrtané zásobníky

Vrty pro uskladňování tepelné energie jsou obvykle vrtány do hloubek 100 – 200 metrů s typickým průměrem 150 – 200 mm. [29] Uskupení vrtů je tvořeno v půdorysu liniemi, radiálami nebo mnohoúhelníky. Vrty mohou být ve dvojím provedení. Otevřené systémy, kdy je voda čerpána otevřeným vrtem. Tento systém však není příliš často využíván.

U uzavřených systémů se jedná o obdobné technické řešení jako u vrtů pro tepelná čerpadla. Do vrtu je instalováno potrubí, vyrobené zpravidla z HDPE. Vrt pracuje stejně jako v případě tepelného čerpadla.



*Obr. 23 Otevřený (A) a uzavřený (B) systém výstroje vrtů pro zásobníky energie [29]*

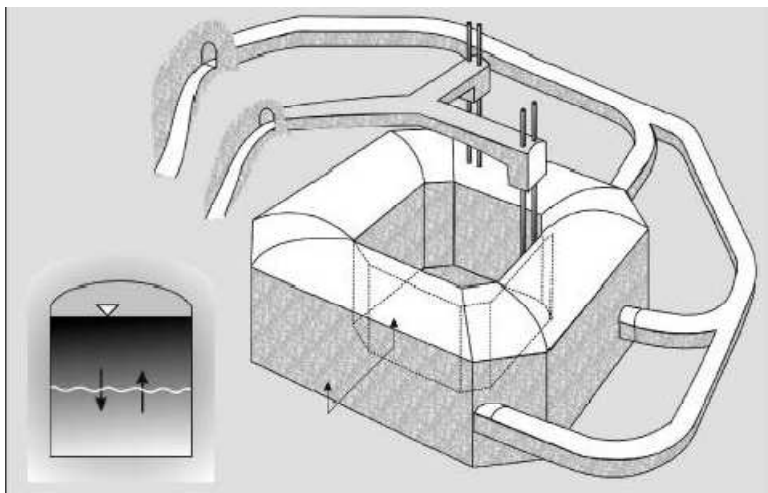


*Obr. 24 Různé konfigurace vrtů pro podzemní zásobníky energie [29]*

Vzdálenosti mezi vrty mohou být různé, například v podmínkách Skandinávie se obvykle dodržuje rozteč vrtů mezi 6 – 8 metry. Základní vlastnosti horninového prostředí vhodné pro kvalitní podzemní zásobník energie jsou: vysoké měrné teplo hornin, střední až vysoký koeficient tepelné vodivosti a nulová filtrace podzemní vody.

### **Kavernové zásobníky**

Jako příklad kavernového zásobníku může sloužit projekt Lyckebo v Uppsale, Švédsko. Energie je skladována v podzemním prostoru o objemu 100 000 m<sup>3</sup>. Systém je funkční a zásobuje 550 rodin teplem pro vytápění a teplou užitkovou vodu. Teplo je získáváno ze solárních kolektorů o celkové rozloze 4 320 m<sup>2</sup>. Teplota vody v kaverně se pohybuje mezi 90 až 40 stupni Celsia. Po dvou letech provozu byly tepelné ztráty ověřeny na úrovni 10%. [29]



*Obr. 25 Kavernový zásobník energie Lyckebo ve Švédsku [29]*

### **Zemní zásobníky potrubní**

Systém je prakticky totožný s kopanými kolektory jako zdroji zemského tepla pro tepelná čerpadla. Některé aplikace jsou zdokonaleny izolační deskou na zemském povrchu, která zabráňuje únikům tepla v zimním období. Tento typ zásobníků je vhodný pro uskladňování energie při teplotách 25 – 30 stupňů Celsia. Zdrojem energie jsou většinou sluneční kolektory. Při čerpání energie se často využívají tepelná čerpadla. [29, 15]

### **Zemní zásobníky jámové**

Princip tohoto řešení spočívá ve vytvoření velké stavební jámy na povrchu. Následuje izolace stěn jámy, vyplnění vzniklého izolovaného prostoru vhodným materiálem (voda, písek, hornina, beton) za současné instalace systému potrubí, kterým je přenášena energie. Povrch jámy je nakonec rovněž tepelně izolován. Jako příklad může sloužit technické řešení, využití v Dánsku. Zde bylo instalováno plastové potrubí do jámy, která byla vyplněna zvodněným pískem. Celkem je instalováno 5000 m potrubí, objem zásobníku je 3500 m<sup>3</sup> a maximální teplota v zásobníku 66 stupňů Celsia. Jako zdroje tepla se opět využívá převážně slunečních kolektorů, někdy i odpadního tepla z klimatizace.

### **7.3. Přehled zkušenosti z evropských zemí [29]**

#### **Belgie**

Instalace podzemních zásobníků energie není příliš častá. Převažuje systém ATES, zejména v regionu Flander (Campine). Vlivem nepříliš vhodných hydrogeologických podmínek se v budoucnu očekává větší rozvoj BTES.

#### **Dánsko**

Do konce roku 2007 nejsou známy aplikace podzemního skladování energie.

#### **Německo**

Většina aplikací v Německu je řešena jako BTES a je zaměřena na topení nebo topení v kombinaci s chlazením. Výkonově se instalace pohybují zpravidla v rozsahu 50 do 500 kW. Existuje zde několik BTES projektů, kdy je skladována sluneční energie získaná pomocí slunečních kolektorů o teplotách 60 – 90 stupňů Celsia.

#### **Holandsko**

Díky své geografické poloze má Holandsko přirozeně dobré podmínky pro systémy ATES. V roce 2005 zde bylo provozu takových 537 projektů, většinou pro uskladnění chladu v zimě k využití pro letní klimatizaci.

#### **Španělsko**

Ve Španělsku jsou technologie využití tepelných čerpadel a podzemních zásobníků tepla využívány méně často než v ostatní Evropě. Existují instalace menšího rozsahu v oblasti staveb pro individuální bydlení zejména v Baskicku a Katalánii.

#### **Švédsko**

V této zemi je používání podzemních zásobníků energie rozšířené, což koresponduje s velmi populárním a častým nasazením technologie tepelných čerpadel typu země – voda. Podle [15] existuje do roku 2007 celkem 200 projektů BTES a 50 projektů ATES. Jednou z bariér širšího využití ATES je i složitost právní procedury povolení.

## Velká Británie

Do roku 2007 byl ve Velké Británii instalován pouze jeden systém typu ATES, řada nových ATES i BTES projektů byla ve stádiu přípravy.

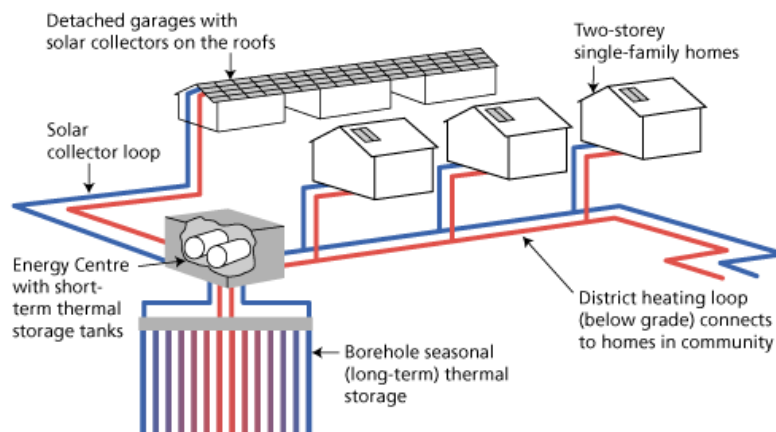
Využívání ATES a BTES systémů je v různých zemích na různém stupni praktického využití. Přirozené rozdíly jsou dány geografickou polohou daného území, stejně jako geologickými a hydrogeologickými podmínkami horninového prostředí. Významnějším faktorem, ovlivňujícím četnost použití, jsou podle [15] nejasné energetické požadavky na novou bytovou a komerční výstavbu a dostupnost vhodných technologií.

### 7.4. Příklad „Drake Landing Solar Community“

Moderní uplatnění technologie BTES je v lokalitě Drake Landing Solar Community, která se nachází ve městě Okotoks, provincie Alberta, Kanada. Celkem 52 rodinných domů je z 90 % vytápěno teplem, získaným slunečními kolektory během letního období a uskladněným do podzemního zásobníku tepla typu BTES k čerpání v zimě. Technické řešení energetických potřeb komunity vychází z následujících principů:

- domy využívají energii k vytápění a ohřevu vody o 30% efektivněji ve srovnání s klasickými stavbami,
- vytápění každého domu je z 90 % zajištěno sluneční energií,
- každý dům snižuje emise o 5 tun ekvivalentu CO<sub>2</sub> ročně ve srovnání s klasickými stavbami.

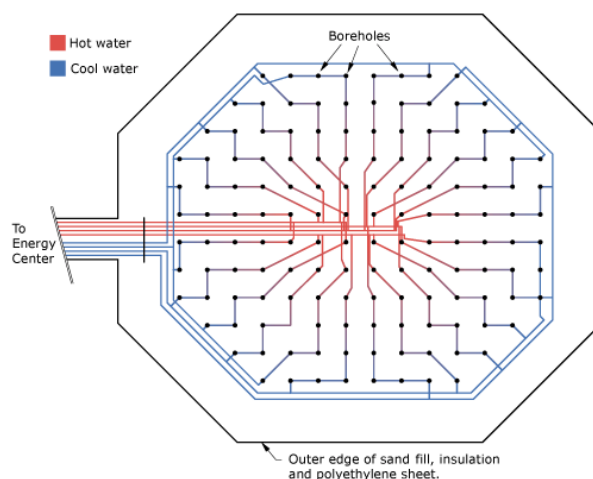
Solární energie je získávána prostřednictvím 2293 m<sup>2</sup> slunečních kolektorů, umístěných na konstrukcích střech garáží. Tyto kolektory mají celkový výkon 1,5 MW během typického letního dne. Dílčí bloky kolektorů jsou propojeny do energetického centra, kde dochází ke krátkodobé akumulaci tepelné energie. Jsou zde umístěny dvě 120 m<sup>3</sup> nádrže na vodu pro uskladnění tepla, záložní plynový kotel a další strojní a technická zařízení. [58]



*Obr. 26 Schéma vytápění Drake Landing Community Centre [58]*

*Detached garages with solar collectors on the roofs – samostatně stojící garáže se solárními kolektory na střechách; Two-storey single family homes – dvojpodlažní jednogenerační domy; Solar collector loop – okruh solárního kolektoru; Energy Centre with short-term thermal storage tanks – energetické centrum se zařízením na krátkodobé uskladnění tepla; Borehole seasonal (long-term) thermal storage – vrtaný podzemní zásobník na dlouhodobé uskladnění tepla; District heating loop (below grade) connects to homes in community – rozvod ústředního topení (pod povrchem)*

Podzemní zásobník typu BTES je tvořen 144 ks vrtů. Hloubka vrtů je 35 m, průměr vrtů je 150 mm. Vzdálenost mezi vrty je 2,25 m. Vrty jsou vystrojeny uzavřeným polyetylenovým potrubím Js 25, jednookruhovou smyčkou. Každý vrt je vybaven injektážní polyetylenovou trubkou Js 40. Vrty jsou injektovány směsí s 32 % příměsí křemitého materiálu. Jsou konfigurovány do tvaru osmiúhelníku do 24 skupin po 6-ti paralelně zapojených vrtech. Celý systém je rozdělen do čtyř okruhů. V letní sezóně při ukládání tepla se horká teplotná kapalina jako první vtlačí do vrtů nejbližší středu osmiúhelníku a odvádí se od středu směrem k jeho obvodu. Naopak v zimě při čerpání tepla jsou jako první využívány vrty na obvodu a teplotná kapalina proudí postupně od obvodu do středu osmiúhelníku. Povrch plochy osmiúhelníku je izolován vrstvou písku a polystyrénu. Systém je vyprojektován tak, aby na konci letní sezóny bylo možno dosáhnout v podzemí zásobníku teplotu na úrovni 80 °C. [58]



*Obr. 27 Půdorys vrtaného podzemního zásobníku Drake Landing Community Centre [58]*

*Hot water – horká voda; Cool water – studená voda; Boreholes - vrty; To Energy Center – směrem k energetickému centru; Outer edge of sand fill, insulation and polyethylene sheet – vnější hrana pískové výplně, izolace a polyetylenového překrytí*

## 7.5. Shrnutí

Využívání podzemí pro uskladňování energie je moderní a účinný způsob, jak vyřešit sezónní výkyvy poptávky a zároveň využít obnovitelné energetické zdroje. Jak ukazuje příklad Drake Landing Community Centre, existují dnes již taková technická řešení, která z 90 % umožní vytápět sérii rodinných domů pouze sluneční energií, která byla v létě uskladněna v podzemí na pozdější použití v zimním období. Vrty pro BTES jsou prakticky shodné s vrty pro tepelná čerpadla. Kde jsou rozšířené instalace tepelných čerpadel typu země – voda, tam je i technický potenciál na budování BTES. Podle mínění autora má technologie podzemních zásobníků obrovskou budoucnost. Přísné požadavky na energeticky úspornou výstavbu spolu s odpovídajícím technologickým vybavením vytváří velmi dobré podmínky pro rozvoj systému BTES i v České republice.

## **8. Právní rámec povolování vrtů pro tepelná čerpadla**

### **8.1. Úvod**

Hloubkové vrty pro tepelná čerpadla jsou v podmínkách České republiky poměrně novou aktivitou. Jejich zřizování je často komplikováno právními nejistotami, které vyplývají z těchto příčin: [21]

- neexistuje jednoznačný, obecně akceptovaný proces, který by stanovil postup právních kroků při zřizování vrtů pro tepelná čerpadla,
- osvěta pracovníků příslušných úřadů není dosud na potřebné úrovni,
- není obvyklá propojenost báňské činnosti s běžnou stavební činností,
- nejsou obecně známa rizika, která se mohou při realizaci vrtů vyskytnout,
- realizační vrtařské firmy často nemají dostatečné zkušenosti a potřebnou techniku,
- nejsou zavedeny technologické standardy, není vytvořen závazný technický předpis, který by požadavky a podmínky formuloval,
- není definován kontrolní mechanismus, který by zaručoval dodržování přijatých pravidel a popřípadě stanovoval postihy za jejich nedodržování.

Cílem této části práce je zmapování českého právního prostředí, které je pro realizaci vrtů určující. Dále je v této kapitole popsán nejčastěji uplatňovaný proces povolování v rámci stavebního řízení s analýzou rizik a možných střetů zájmů. Součástí kapitoly je i stručná rešerše kvalitativních norem, platných v Evropě.

### **8.2. Právní náhledy na vrty pro tepelná čerpadla**



Vrt delší než 30 m je podle zákona o hornické činnosti, výbušninách a státní báňské správě [46] činností prováděnou hornickým způsobem a jeho zřízení podléhá dozoru státní báňské správy. Vrt může realizovat pouze organizace ve smyslu horního zákona s patřičným oprávněním, které je založeno na osobní odpovědnosti osoby s osvědčením o odborné způsobilosti s kvalifikací minimálně „závodní“. [46] Podle platné vyhlášky [50] musí být zpracován projekt vrtu. Činnost prováděná hornickým způsobem musí být v předepsaném rozsahu a lhůtě ohlášena na místně příslušném báňském úřadě. [48] Státní báňská správa má tím možnost řešit případné střety zájmů v rámci své působnosti a dozоровat bezpečnost samotného provádění prací.

Součástí formuláře ohlášení je i povinnost uvádět rozhodnutí, kterým byla povolena činnost prováděná hornickým způsobem podle zvláštních předpisů. Ve vysvětlivkách příslušné vyhlášky [48] je uvedeno, že nejčastěji půjde o povolení vydaná stavebním úřadem podle předpisů o investiční výstavbě. Tato skutečnost postupně vedla k nutnosti doložit vazbu na samotnou stavbu: kdo a proč tento vrt požaduje, zda bylo provedeno řízení podle příslušného zákona zaručující vyřešení možných střetů zájmů (státem chráněné zájmy, zájmy fyzických a právnických osob), a zda byla posouzena a zohledněna veškerá rizika. Vystala tak otázka, pod působnost kterého zákona spadá řízení týkající se vrtů. Tento zásadní problém do dnešního dne není jednoznačně vyřešen, v praxi se však aplikuje několik přístupů a výkladů.

### **8.2.1. Vrt podle stavebních předpisů**

Podle stanoviska odboru stavebního řádu Ministerstva pro místní rozvoj [30] vrt není považován za stavbu. Uvedené stanovisko analyzuje, co vrt není, než říká však, co vrt skutečně je. V závěru konstatuje, že aplikace stavebního zákona se vztahuje na technické zařízení, které zprostředkovává využití získaného tepla, nikoliv na povolování vrtných prací. Ze stanoviska lze odvodit, že vrtné práce probíhají mimo samotnou stavbu a veškerá řízení se odehrají někde jinde, myšleno v rámci působnosti báňské správy. Jak už ale bylo uvedeno výše, báňské předpisy se v tomto případě týkají samotné realizace činnosti prováděné hornickým způsobem, ne však jejího povolování.

Tento stav vede ze strany vrtných organizací ke zpětné vazbě na stavební úřady. Prováděcí vrtná organizace je motivována potřebou mít jasno, v rámci které stavby se příslušný vrt bude realizovat. Je nutno doložit, že daná stavba skutečně existuje, že místně příslušný stavební úřad o stavbě ví, že proběhlo příslušné řízení dle stavebního zákona a že existuje rozhodnutí, kterým stavební úřad stavbu povoluje. Problém nastává v okamžiku, kdy stavební úřad, vycházející z uvedeného stanoviska [30], odmítne vrt začlenit do stavebního řízení s odůvodněním, že vrt není stavba.

Obvyklým řešením je osobní jednání zástupců vrtné organizace na místně příslušném stavebním úřadě. S odpovědnými úředníky jsou projednány otázky samotného technického řešení vrtu, možná rizika a možné střety zájmů. Je předložena projektová dokumentace a vyjasněna pozice a úloha dozoru státní báňské správy. Ve většině případů se daří docílit shody a najít vyhovující řešení. Stavební úřady, kde již jednou takové jednání proběhlo, analogicky řeší další podobné případy.

Formálně může být vyjádření stavebního úřadu k vrtu na tepelné čerpadlo obsahem územního rozhodnutí a stavebního povolení. Pokud se stavebník rozhodne změnit způsob vytápění během výstavby, může požádat o změnu stavby před jejím dokončením. V obou případech musí být projekt vytápění součástí žádosti o stavební povolení. V případě, kdy se bude měnit otopný systém na již zkolaudovaném objektu, musí tuto změnu stavebník na příslušný stavební úřad ohlásit. Úřad může v zákonné lhůtě požadovat stavební řízení. Rovněž je zde nutno doložit projektovou dokumentaci. Největším nedostatkem tohoto přístupu je nejednotnost v postupech stavebních úřadů. Někdy se vůbec odmítnou problémem zabývat a nereagují například na ohlášení stavební úpravy.

V současné době je zřejmá potřeba metodiky, která by byla závazná pro všechny stavební úřady a jednotně by stanovila, co má obsahovat dokumentace žádosti o stavební povolení a jak proběhne stavební řízení v případě, že součástí stavby je vrt pro tepelné čerpadlo. Tento postup je ovšem v rozporu s uvedeným stanoviskem [30] tj., že vrt není stavba.

Řešením by bylo přijmout výklad, že vrt pro tepelné čerpadlo je součástí stavby jako součást strojů a zařízení, které se do příslušné stavby montují pro instalaci otopného systému. Samotný vrt je pak „vybranou činností ve výstavbě“ podle [52], která může být vykonávána pouze podle zvláštních předpisů, v tomto případě báňských.

### **8.2.2. Vrt podle vodohospodářských předpisů**

Nezodpovědný přístup některých vrtných organizací v minulosti vedl k tomu, že při vrtání vrtů pro tepelná čerpadla došlo k poškození režimu podzemních vod, což se projevilo nejzávažněji v případech, kdy byly kontaminovány zdroje pitné vody. Hlavně proto zahájili odborníci z řad hydrogeologů a ochránců životního prostředí iniciativu k zabezpečení vyššího stupně ochrany podzemních vod.

Iniciativa vyústila k dotazu Ministerstva životního prostředí na Ministerstvo zemědělství, zda je vrt pro tepelné čerpadlo vodním dílem podle vodního zákona. [53] Výkladová komise Ministerstva zemědělství uvádí [28], že se při provozu těchto vrtů jedná o jiné nakládání s vodami pro využívání jejich energetického potenciálu a vrtý pro tepelná čerpadla jsou vodními díly stejně jako např. studny. Podle tohoto výkladu projektování vrtů, jejich povolování, zřizování a provoz spadá pod režim vodního zákona.

Tento výklad slouží zejména k tomu, aby se do procesu povolování k nakládání s vodami povinně včlenilo vyjádření osoby s odbornou způsobilostí – hydrogeologa. Přestože má výklad několik diskutabilních prvků (vodní zákon nehovoří o využívání energetického potenciálu v souvislosti s podzemní vodou, některé vrtý pro tepelná čerpadla nevyužívají energetického potenciálu podzemní vody, ale jenom suché zemské teplo), prakticky se tento model vyskytuje poměrně často. Vrt se řeší jako vodní dílo a prochází vodoprávním řízením.

Slabinou tohoto modelu je nekompatibilita odborných i formálních podmínek zákona s praktickými požadavky v případě vrtů pro tepelná čerpadla, protože primárně byl vodní zákon formulován pro jiný druh staveb. Výhodou je povinná účast odborně způsobilé osoby – hydrogeologa – na celém procesu.

### **8.2.3. Vrt dle geologických předpisů**

Tato varianta přichází v úvahu v případě, kdy vrt bude součástí realizace projektu geologických prací dle geologického zákona. [45] Prakticky se může jednat o geologický průzkum,

jehož cílem bude zjistit, zda je daná konkrétní lokalita vhodná pro instalaci primárního kolektoru pro tepelné čerpadlo. Potřeba geologického průzkumu může nastat tehdy, když se bude jednat o významnou lokalitu z hlediska geologického nebo hydrogeologického, která není dostatečně známa a není k dispozici dostatek informací rozhodujících o tom, aby mohla být zpracována dokumentace k povolovacímu řízení a k projektu vrtu.

#### **8.2.4. Vrt dle báňských předpisů**

Průmyslové využívání tepelné energie zemské kůry s výjimkou tepelné energie vody vyvedené na povrch patří podle horního zákona [46] mezi zvláštní zásahy do zemské kůry. Zvláštní zásah do zemské kůry je hornickou činností. Postup povolování hornické činnosti je definován zákonem a je plně v působnosti státní báňské správy. O této variantě řešení se v poslední době často diskutuje. Klíčovým problémem je vyjasnění obsahu pojmu „průmyslové využití“.

### **8.3. Procesy, rizika a střety zájmů**

V této kapitole je pro jednoduchost analyzován nejčastější model právního režimu realizace primárního kolektoru, kdy je vrt nebo skupina vrtů chápána jako stavba. Kromě tohoto modelu je možné zvolit i jiný právní rámec – viz výše. V principu se ale jednotlivé procesy, rizika a možné střety zájmů nemění, rozdílné jsou pouze zákony, pod kterými se činnost realizuje.

### 8.3.1. Projektová příprava realizace kolektoru

#### Popis procesu

Výchozím podkladem je vstup od projektanta – topenáře, který stanovuje tepelnou potřebu řešeného objektu. Následuje dimenzování primárního výměníku v ideálním případě tak, jak bylo popsáno v předcházejících kapitolách této práce. Výsledkem je návrh projektu vytápění s hloubkami, počtem a umístěním vrtů.

Nezbytným dalším krokem je fyzická prohlídka lokality. V terénu musí být prověřen průběh stávajících inženýrských sítí a ochranných pásem, nadzemních vedení, podzemních liniových staveb. Orientačně musí být zmapovány polohy a stav studní a jiných zdrojů vody na přilehlých pozemcích, stejně tak je nutno zaznamenat stav budov, které mohou být vrtáním ovlivněny. Na místě se určí lokalizace jednotlivých vrtů, které musí být orientačně zakresleny do mapy. Od dodavatele stavby (investora) je potřebné zajistit veškerou související dokumentaci. Velmi užitečné je pořízení detailní fotodokumentace. Vše slouží jako podklad pro zpracování projektu vrtu.

Pokud je primární kolektor tvořen vrty hlubšími než 30 m, jedná se o činnost prováděnou hornickým způsobem – viz výše, [46, 50] a ve smyslu báňských předpisů musí být zpracován projekt vrtu. Vypracovat projekt smí jen „báňský projektant“, což je osoba s osvědčením o odborné způsobilosti projektovat či navrhovat projekty nebo zařízení, které jsou součástí hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem. [49]

Podle [50] obsahuje projekt vrtu povinně část geologickou, část technickou a přílohy. Část geologická je základem pro řešení jednotlivých kapitol části technické. V souvisejících předpisech není stanoveno, jakou kvalifikaci musí mít osoba, která zpracovává geologickou část projektu vrtu. Je tedy pouze na zvážení „báňského projektanta“, který je celkově odpovědný za správnost projektu, jaké podklady, v jakém rozsahu a kvalitě bude akceptovat pro zpracování následné technické části. V případě vrtů pro tepelná čerpadla je zřejmé, že kvalitní geologická část je nesmírně důležitá zejména z pohledu poskytnutí informací o podzemních vodách, krasových útvarech a o požadavcích na izolaci vrstev.

Z uvedených skutečností a zejména ze zkušeností vyplývá, že je vhodné, aby geologickou část projektu vrtu pro tepelné čerpadlo zpracovala osoba s vysokou odbornou úrovní, nejlépe doloženou osvědčením o odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce. [45, 51] Technická část projektu obsahuje řadu povinných kapitol, které je nutno postupně

zpracovat, od vysloveně technických a technologických záležitostí přes otázky bezpečnosti provádění prací až po opatření na ochranu životního prostředí a na ochranu veřejných zájmů. Jako podklad opět slouží informace získané v terénu a geologická část. Přílohy jsou zpracovány v rozsahu přiměřeném konkrétní lokalitě.

*Tab. 9 Shrnutí fází projektové přípravy [autor]*

Fáze	Činnost
projekt vytápění	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dimenzování vrtů</li> </ul>
prohlídka lokality	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lokalizace inženýrských sítí</li> <li>• orientační pasportizace okolních studní</li> <li>• orientační pasportizace okolních budov</li> <li>• fotodokumentace</li> <li>• převzetí související dokumentace</li> </ul>
projekt vrtu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geologická část včetně hydrogeologického posudku</li> <li>• technická část</li> <li>• přílohy</li> </ul>
územní/stavební řízení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• územní/stavební řízení</li> <li>• rozhodnutí stavebního úřadu</li> </ul>

## Rizika a střety zájmů

Největším rizikem v této etapě jsou neúplné informace o lokalitě. Důsledkem pak je nekvalitně zpracovaný projekt vrtu, což může vést k poškození inženýrských sítí, staveb, liniových staveb, životního prostředí a zejména režimu a jakosti podzemních vod. Nejzávažnějším dopadem může být ohrožení bezpečnosti lidí.

Nejvýznamnější střety zájmů se mohou objevit během projednávání záměru v průběhu územního, stavebního (sloučeného) řízení s jednotlivými účastníky. Lze očekávat celou řadu možných střetů, a to z pohledů několika zákonů. Projektant musí brát v úvahu státem chráněné zájmy z titulu horního zákona (dobývací prostory, chráněná ložisková území, průzkumná území apod.), vodního zákona (hydrogeologická situace podzemních vod), zákona o odpadech a zákona o posuzování vlivů na životní prostředí. Dále je nutno brát v úvahu zájmy fyzických a právnických osob (např. nelze projektovat vrt tam, kde je dojezd techniky možný pouze přes pozemek, na který majitel nepovolil vstup).

Vzhledem k tomu, že se jedná o klíčovou fázi přípravy, musí být veškeré známé či předpokládané střety zájmu v rámci zpracování projektu vrtu vyřešeny tak, aby realizace vrtu nebyla příčinou jakéhokoliv porušení zákonných či jiných oprávněných zájmů. Pokud se objeví kolize zájmů, je nezbytné včas vyjasnit podmínky pokračování prací na daném projektu. Záporné rozhodnutí stavebního úřadu vede k tomu, že projekt nebude realizován. Územní a stavební řízení je ukončeno v zákonných lhůtách rozhodnutím, zohledňujícím veškeré skutečnosti, zjištěné během řízení.

### 8.3.2. Realizační příprava

#### Popis procesu

Výsledkem projektové přípravy je rozhodnutí příslušného úřadu o stavbě. V ideálním případě se jedná o stavební povolení dané rozhodnutím stavebního úřadu, které již obsahuje i povolení stavby primárního kolektoru - vrtu. Následuje provozní příprava, tj. zpracování provozní dokumentace, organizační a materiálová příprava, technická příprava a personální příprava. Po přípravě je možno přistoupit k realizaci; povinností organizace podle báňských předpisů je ohlásit činnost prováděnou hornickým způsobem na místně příslušný báňský úřad. [48]

*Tab. 10 Shrnutí fází realizační přípravy [autor]*

Fáze	Činnost
provozní příprava	<ul style="list-style-type: none"><li>• provozní dokumentace</li><li>• organizační příprava</li><li>• materiálová a technická příprava</li></ul>
realizace vrtu	<ul style="list-style-type: none"><li>• ohlášení činnosti prováděné hornickým způsobem na báňský úřad</li></ul>

#### Rizika a střety zájmů

Rizikem je nekvalitní provozní příprava. Pokud nerespektuje podmínky provedení díla, definované v projektu vrtu, vznikne s velkou pravděpodobností během realizace řada problémů.

Střety zájmů mohou vzniknout po ohlášení, kdy se ukáže, že v rámci územního nebo stavebního řízení nebyly uspokojivým způsobem vyřešeny zájmy v oblasti působnosti státní báňské správy.

### 8.3.3. Realizace vrtu

#### Popis procesu

Pokud předchozí etapy proběhly v pořádku a jsou úspěšně a bezchybně uzavřeny, je možno přistoupit k samotnému vrtání. Důležitou podmínkou úspěšného provedení je proškolení personálu a jeho seznámení s projektovou a provozní dokumentací. Důležitým faktorem je pravidelná a důkladná kontrola ze strany provozních techniků prováděcí firmy. Byla-li příprava na požadované úrovni a během prací nedojde k nečekané situaci, dá se předpokládat, že nevzniknou potíže.

Samozřejmostí je dodržování veškerých souvisejících zákonných norem [zejm. 46, 49, 50], určujících pravidla bezpečného a hygienického provádění prací s ohledem k životnímu prostředí. V průběhu vrtání musí být vedeny záznamy předepsaným způsobem.

Během vrtání se provádí mezioperační kontroly kvality, vrty jsou ukončeny závěrečnými zkouškami průtočnosti a těsnosti. Následně jsou protokolárně předány, je zpracováno závěrečné vyhodnocení, dokumentace je zkompletována a předepsaným způsobem archivována.

*Tab. 11 Shrnutí fází realizace [autor]*

Fáze	Činnost
realizace vrtu	<ul style="list-style-type: none"><li>• kontroly</li><li>• bezpečnost a hygiena</li><li>• životní prostředí</li><li>• kontroly kvality</li></ul>



ukončení prací	<ul style="list-style-type: none"> <li>• předání díla</li> <li>• závěrečná zpráva</li> <li>• archivace dokumentace</li> </ul>
----------------	---

## **Rizika a střety zájmů**

Mohou se vyskytnout rizika, vyplývající z nepředvídaných skutečností (tedy objektivně nezohledněná v předprojektové a projektové přípravě). Pro tyto případy musí být vypracován krizový plán (havarijní plán), aby bylo možno takovéto situace zvládat. Dále mohou existovat rizika, vyplývající ze selhání techniky nebo personálu, řešení těchto situací se řídí stejnými pravidly jako v předcházejícím případě.

Střety zájmů se v podstatě již nesmí vyskytnout. Pokud se objeví, bude to v důsledku krizové situace a musí se jako takové řešit.

## **8.4. Některé související evropské normy**

V Evropě mají instalace tepelných čerpadel podstatně delší historii. Odborné, technické a právní aspekty prošly vývojem, jehož začátek a průběh v minulosti byl analogický se situací, která je dnes v České republice. Výsledná potřeba unifikace základních procesů vyústila do zpracování norem. V Německu se jedná o normy odborné asociace německých inženýrů VDI (Verein Deutscher Ingenieure) [47], které jsou určující pro Německo a Rakousko. Ve Švýcarsku se jedná o publikace odborných svazů (např. pracovní společenství tepelných čerpadel A.W.P. nebo publikace svazu autorizovaných inženýrů FWS).

### **8.4.1. VDI 4640 Thermal use of underground - Německo**

## **Stručný výtah normy [47]**

Horninové prostředí může být využito jako zdroj tepla, zdroj chladu a jako tepelný zásobník. Zemní výměníky mohou být horizontální a vertikální, teplo je možno získat také čerpáním podzemní vody. Jedná se o úsporné systémy získávání energie z obnovitelných zdrojů. Postupy v normě uvedené jsou určeny pro projektové organizace, výrobce komponent a materiálů, pro úřady udělující povolení, energetické auditory a pro účely výuky. Smyslem je stanovit pravidla pro správné projektování, pro správný výběr materiálů, bezchybné provedení vrtných prací a správnou kompletaci celého systému tak, aby byla zaručena technická a ekonomická úroveň instalovaného zařízení, které bude pracovat bez poruch a nebude ani při dlouhodobém provozu příčinou negativního ovlivňování životního prostředí.

Norma platí pro výměníky o hloubce max. 400m. Dělí systémy na systémy pro vytápění, systémy pro vytápění a chlazení a systémy pouze pro chlazení. Zemní výměníky jsou kopané kolektory, vrtané kolektory a ostatní zemní speciální zařízení. Teplo je možno čerpat i z podzemní vody nebo z vody ze starých důlních děl a tunelů. Podzemní tepelné zásobníky jsou pro vytápění, chlazení a jejich kombinaci.

Plánování, projektování, provedení a provoz musí být ve shodě s požadavky vodního práva. Geotermální energie je licencovaný zdroj, pro průmyslové využití je nutná licence dle horního práva. Ta však není vyžadována v případě osobního využití nebo pro bytovou výstavbu. Pro využívání tepelné energie pomocí vrtů z hloubek menších než 100 metrů není horní zákon závazný.

Norma řeší bezpečnostní požadavky na tepelná čerpadla a možné dopady instalace na životní prostředí. Rovněž se zabývá i ekonomickým využitím zdrojů tepla. Například stanovuje, že u malých instalací do 30 kW výkonu se energie z jednoho metru vrtu za rok musí pohybovat mezi 100 a 150 kWh. U projektů nad 30 kW výkonu musí být projekt doložen výpočtem.

Norma například určuje minimální vzdálenost vrtu od budov na 2 m a definuje požadavky na provedení tlakových a průtočných testů vrtu. Určuje podmínky injektáže a stanovuje rozsah povinné dokumentace.

Nutno poznamenat, že norma VDI 4640 není právně závazná, prakticky se však respektuje a realizační firmy ustanovení normy dodržují. Dokument má formu i charakter standardní technické normy.

#### **8.4.2. Značka kvality pro geotermální sondy – Švýcarsko**

##### **Stručný výtah normy [10]**

Jedná se o dokument, jehož cílem je stanovit pravidla pro vrtání „geotermálních sond“ tak, aby byla zaručena kvalita provedení z hledisek spokojenosti zákazníka, ochrany životního prostředí, použitých technologií a bezpečnosti a hygieny práce. Značku kvality uděluje komise svazu autorizovaných inženýrů pro firmy s působností po celém Švýcarsku. Kromě toho, že uděluje značku kvality, komise kontroluje dodržování parametrů a organizuje kurzy a vzdělávání v oboru. Značku kvality může získat pouze organizační jednotka provádějící vrtné práce, žadatel musí být členem FWS (švýcarský svaz inženýrů).

Mezi technické standardy patří například požadavek, aby pracoviště bylo vybaveno pro řešení anomálních tlakových projevů (artézska voda), musí se průběžně odebírat vzorky jádra, vrt musí být po celé délce injektován, polyetylenová potrubí musí být dílensky svařena, musí být proveden tlakové zkoušky, atd. Je předepsána znalost havarijních postupů, doložitelné proškolení vrtné osádky a vedení vrtného deníku.

Musí být dokumentovány a doloženy významné skutečnosti, týkající se životního prostředí. Zvláštní pozornost je věnována hydrogeologickým poměrům, smí se používat pouze schválené materiály pro výrobu výplachu, odpady musí být předepsaným způsobem likvidovány

#### **8.4.3. Shrnutí**

V Evropě dosud neexistuje závazný jednotný systém, určující jednotlivé postupy. Byla však učiněna řada kroků, které k němu směřují.

Německé směrnice VDI jsou dokumentem odborné inženýrské asociace (komory), a slouží jako nezávazný návod. Jsou určeny zejména pro potřeby odborné veřejnosti, projektantů a realizátorů. Smyslem je analýza souvisejících právních a odborných aspektů, které se této relativně nové činnosti týkají a jejich syntéza do celku, který dává přehled o zákonných povinnostech, požadavcích na projektování, technickém provedení, zkouškách, kontrolách, výběru materiálů, požadavcích na ochranu životního prostředí a nárocích na bezpečnost práce. V současné době se diskutuje o způsobu, který by zabezpečil povinnost dodavatelů systémů vytápění pomocí tepelných čerpadel tyto normativy respektovat.

Poněkud jinou polohu má systém zavedené značky kvality ve Švýcarsku. Dokument je obsahově analogický s již uvedenými materiály VDI. Cílem systému však není pouze definovat jednotný postup při zřizování vytápění tepelnými čerpadly, ale deklarovat zákazníkovi – investorovi, že soubor strojů a zařízení, které si pořizuje, je dodán a instalován v určitém kvalitativním standardu. Tento standard zaručuje, že dodávka bude v souladu se zákonnými požadavky (např. povolovací řízení, ekologie, odpady, hydrogeologie), že má potřebnou úroveň technického provedení (materiály, instalace, vrtné práce, testy) a zaručuje vypočtenou návratnost investice – tj. že otopný systém je ze všech hledisek správně vyprojektován. Značka kvality není povinností, zákazník má možnost si vybrat dodavatele podle své úvahy.

Z dokumentů vyplývá důraz na dodržování horních, vodoprávních a geologických předpisů. Každá země má svůj vlastní postup povolovacího řízení, závislý na místních zákonech. Existují i jednotné politiky v rámci národních asociací, jako například ve Velké Británii, [5] nebo dílčí specializované normy na určité pracovní postupy, jako například na injektáž vrtu ve státě Illinois USA. [7]

V České republice je snaha o unifikaci právních a pracovních postupů vyjádřena společným dokumentem firem, sdružených při Asociaci pro využití tepelných čerpadel. Tato profesní sekce vznikla v roce 2008, v červenci roku 2009 bylo členem této skupiny 8 vrtných společností. Základní podmínky členství v sekci jsou dány dokumenty Statut vrtné sekce. Zásady odpovědného přístupu k realizaci vrtů ve standardní kvalitě jsou specifikovány v Kodexu vrtné sekce [56].

## **8.5. Závěr**

Podle názoru autora jsou požadavky na proceduru povolovacího řízení vrtů pro tepelná čerpadla následující:

- **jednoznačnost** – musí být jednoznačně stanoveno, který zákonný rámec se povolování vrtů pro tepelná čerpadla týká,
- **transparentnost** – procedura musí být přehledná, odpovědnost za jednotlivé činnosti v rámci procesu musí být zcela jasné,
- **rychlost** – musí umožňovat vyřízení právních náležitostí v reálném čase,
- **kvalita** – musí být garantován minimální kvalitativní standard zejména z pohledu hydrogeologie.

Požadavkům může vyhovovat proces stavebního řízení za podmínky, že povinnou součástí řízení bude mimo jiné posouzení příslušné lokality osobou s osvědčením o odborné způsobilosti v oboru hydrogeologie. Tento výklad vychází z předpokladu, že vrt pro tepelné čerpadlo je součástí stavby, která bude provedena podle zvláštních (báňských) předpisů.

## 9. Příklad instalace VŠB - TU Ostrava

### 9.1. Úvod

Největší doposud realizovanou instalací tepelných čerpadel v České republice, kdy primární kolektor nízkopotenciálního tepla je tvořen hlubinnými vrty, je vytápění komplexu budov nové Auly a CIT VŠB – TU Ostrava (Aula+CIT). Tento objekt představuje dva nezávislé funkční celky, a to Aulu s vedlejšími sály a Centrum informačních technologií. Stavba byla povolena stavebním povolením č. 925/03/výst., které nabylo právní moci dne 23.12.2003. Stavba byla zahájena v roce 2004 a kolaudována v roce 2006.

Základem provozu objektu je Aula o kapacitě cca 500 míst s amfiteatrálně uspořádaným hledištěm. Jeviště slouží pro výuku, promoce, kongresy a kulturní akce. Součástí vybavení je šatna, občerstvení a nezbytné hygienické zázemí. Další sály a salonky, které jsou součástí stavby, jsou určeny rovněž pro přednášky, kulturní a společenské akce. V podzemí jsou umístěny místnosti technického vybavení. Centrum informačních technologií je umístěno mezi Aulu a objekt knihovny. Provozně vytváří samostatný, oddělený komplex technologického sálu, kanceláří, zasedací místnosti a hygienického zařízení.

Podle původního projektu bylo vytápění celého objektu projektováno z centrálního zásobování teplem jako z primárního zdroje energie. Sekundární okruhy jsou kombinací podlahového vytápění, teplovzdušných systémů a topných těles. Během projekční přípravy došlo ke změně projektu vytápění a jako moderní, technicky unikátní a vysoce ekonomicky efektivní bylo navrženo řešení s tepelnými čerpadly systému země-voda.

Samotná instalace proběhla v období měsíců května až srpna 2006. Otopný systém je tvořen deseti švédskými tepelnými čerpadly IVT o celkovém výkonu cca 700 kW, které využívají síť 110 vrtů o průměrné hloubce 140 m. Akce v celkové hodnotě 68, 5 mil. Kč byla financovaná dotacemi ze strukturálních fondů EU ve výši 46,4 mil. Kč, ze Státního fondu životního prostředí ve výši 6,6 mil. Kč a z vlastních zdrojů univerzity v objemu 15,5 mil. Kč. [24]

## 9.2. Projektové zadání a technické řešení zdroje tepla

Předmětem stavby byla instalace 10 ks tepelných čerpadel jako zdroje vytápění, vzduchotechniky a pro přípravu teplé užitkové vody pro objekty Auly+CIT, provedení hloubkových vrtů pro tepelná čerpadla a propojení primárních a sekundárních topných okruhů. Zdrojem tepla celého areálu Auly+CIT je 10 ks tepelných čerpadel typu země/voda společnosti IVT typ Greenline D70 s výkonem 69,8 kW při teplotním spádu 0/50 stupňů Celsia. [17]

Technické parametry tepelného čerpadla Green line D70:

• topný výkon/elektrický příkon při 0/50°C	69,8/22,3 kW
• provozní napětí	400 V 3N 50 Hz
• rozběhový proud kompresoru	164 A
• množství chladiva (R 407 C)	9,8 kg
• průtok primárního média	3,95 l/s
• průtok sekundárního média	1,73 l/s
• teplotní spád sekundárního okruhu	55/45°C
• hmotnost	510 kg

Celkový instalovaný výkon zdroje v tepelných čerpadlech je 698 kW. Jako bivalentní zdroj je využita horkovodní výměňková stanice. Tepelná čerpadla jsou umístěna v místnosti strojovny tepelných čerpadel, která je situována v suterénu objektu. V místnosti jsou dále umístěny akumulární nádoby (2 x 700 l) s přehřevem teplé užitkové vody, expanzní a doplňovací systém, rozvaděč elektro a systém měření a regulace. Všech deset tepelných čerpadel je napojeno na společné rozdělovací a sběrné potrubí DN 200. Tepelná čerpadla jsou napojena na sekundární okruh objektu Auly+CIT ve výměňkové stanici, která byla původně určena k napojení na horkovod centrálního zásobování teplem. Technické parametry výměňkové stanice jsou následující:

• oblastní teplota v místě stavby	15 °C
• tepelný spád ústředního topení (ÚT)	55/45 °C
• tepelný spád vzduchotechniky (VZT)	80/60 °C
• tepelný spád teplé užitkové vody (TUV)	55/45 °C

• konstrukční tlak a teplota ÚT, VZT	0,6 MPa, 100 °C
• max. spotřeba tepla, výkon ÚT	250 kW
• max. spotřeba tepla, výkon VZT	909 kW
• max. spotřeba tepla, výkon TUV	150 kW

Zdrojem tepla pro tepelná čerpadla jsou hlubinné vrty, umístěné pod nezpevněnou zatravněnou plochou, na parkovišti před vchodem do Auly+CIT a na ploše kolem nového objektu Auly+CIT. Technická zpráva [17] definovala počet vrtů na základě provedených testů a měření v předcházejícím období. Celkem mělo být navrtáno 110 vrtů, každý 140 m hluboký, dohromady tvoří cca 15 400 m primárního kolektoru. Ve vrtech jsou instalovány HDPE hadice 32 x 2,9, dva okruhy v každém z nich (čtyřkolona). Na povrchu jsou vždy dva vstupy a dva výstupy propojeny do jedné smyčky HDPE 40 x 3,7. Vrtů jsou vždy v počtu 22 ks svedeny do pěti šachtic, ve kterých jsou umístěny rozdělovače a sběrače pro jednotlivé větve. Od každé šachtice je vedena samostatná větev PE 110 x 6,6. Oběh vody v každé větvi zajišťuje oběhové čerpadlo WILO NP-50/160. Teplonosným médiem v primárním okruhu je směs vody a etylalkoholu s koncentrací 30%.

Součástí technického řešení je i návrh záložního zdroje chladu pro vzduchotechniku. Celkový chladicí výkon pro VZT je projektován na hodnotu 475,5 kW. Původním a jediným zdrojem chladu je zařízení Chiller – Aermec typ RV o parametrech: výkon 485,2 kW, průtok ochlazované vody 67,8 m<sup>3</sup>/h a teplotní spád 8/14 °C. Záložním zdrojem chladu je nemrznoucí směs v primárních okruzích tepelných čerpadel. Ze studené vratné větve jdoucí od tepelných čerpadel k vrtům jsou zhotoveny odbočky DN 150 z materiálu PE 160 x 9,5. Přes pomocné oběhové čerpadlo WILO NP-80/220 je ochlazená teplonosná kapalina vedena k deskovému výměníku tepla. Záložní zdroj chladu má následující parametry:

• teplota chladicího (primárního) okruhu	10/13 °C
• teplota ochlazovaného okruhu	15/12 °C
• průtok ochlazované vody (sekundární okruh)	68 m <sup>3</sup> /h
• průtok chladicí vody (primární okruh)	72 m <sup>3</sup> /h
• hmotnost výměníku	605 kg
• max. chladicí výkon	250 kW



### 9.3. Dimenzování primárního okruhu

S ohledem na velikost instalace byl stanoven způsob přípravy a projektování primárního okruhu. V zásadě bylo nutno zodpovědět následující otázky:

- jaká je geologická charakteristika lokality,
- jaká je hydrogeologie lokality,
- jaké jsou klimatické a meteorologické poměry,
- jaké jsou tepelné vlastnosti hornin tvořících geologický profil,
- jaká je optimální celková metráž primárního kolektoru, kolik vrtů a jak hlubokých bude nutno realizovat,
- jaké je nejlepší rozmístění vrtů z hlediska jejich vzájemného ovlivňování,
- jaká jsou nejlepší technická řešení pro vrty,
- jaká jsou technická rizika vrtání,
- jaké lze očekávat časové a výkonové parametry při vrtání,
- existují-li střety zájmů,
- jak budou verifikovány projektované údaje?

Úkol řešila skupina odborných pracovníků z VŠB – TU Ostrava, Green Gas DPB, a.s. (ved. řešitel A. Kunz – autor), Tepelná čerpadla OVA, s.r.o., Hegas s r.o. a OHL ŽS, a.s. Byl stanoven postup, který zabezpečil vysoce kvalitní přípravu stavby primárního kolektoru a jednotlivé kroky přípravy:

- komplexní posouzení přírodních podmínek lokality,
- posouzení geologických a hydrogeologických poměrů,
- posouzení obdobných lokalit v ČR a ve světě,
- zpracování projektu na dva testovací vrty na lokalitě,
- vyřešení legislativních podmínek,
- realizace dvou testovacích vrtů,
- realizace dvou testů tepelné odezvy,
- vyhodnocení testů, návrh metráže primárního kolektoru,
- návrh testovacího a měřicího polygonu.

### 9.3.1. Posouzení přírodních podmínek lokality

Na základě požadavku Green Gas DPB, a.s. byl zpracován projekt vodního díla pro územní rozhodnutí a stavební povolení včetně návrhu na povolení k jinému nakládání s vodami. [9] V projektu bylo stanoveno zadání úkolu, cíl prací a jejich metodika, byly popsány přírodní podmínky hydrogeologického dotčeného povodí. Rovněž byl definován technický návrh nových vrtů pro tepelná čerpadla, byly zmíněny střety zájmů a pravidla k nakládání s odpady. Cílem projektové dokumentace byl kompletní podklad pro vydání územního rozhodnutí a stavebního povolení vodního díla.

#### Geomorfologické poměry

Podle regionálního geomorfologického členění leží zájmové území v provincii Západní Karpaty, subprovincii Vněkarpetské sníženiny, oblasti Severní vněkarpatské sníženiny a celku Ostravská pánev. [18] Jedná se o plochou rovinu akumulárního rázu kvartérních struktur nižších fluvialních teras a údolních niv. Vlastní lokalita leží na západním okraji Ostravské pánve, prakticky na výchozech spodního karbonu ve flyšovém vývoji.

#### Meteorologické a klimatické poměry

Území se nachází v mírně teplé klimatické oblasti MT-10 podle klasifikace [33].

Tab. 12 Přehled základních klimatických charakteristik [33]

Klimatické charakteristiky	Mírně teplá oblast MT 10
Počet letních dnů	40 - 50
Počet dnů s průměrnou teplotou 10°C a více	140 – 160
Počet mrazových dnů	110 – 130
Počet ledových dnů	30 – 40
Průměrná teplota v lednu ve °C	-2 až -3
Průměrná teplota v červenci ve °C	17 – 18
Průměrná teplota v dubnu ve °C	7 – 8
Průměrná teplota v říjnu ve °C	7 – 8
Průměrný počet dnů se srážkami nad 1 mm	100 – 120
Srážkový úhrn ve vegetačním období v mm	400 – 500
Srážkový úhrn v zimním období v mm	200 – 250
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	50 – 60
Počet dnů zamračených	120 – 150
Počet dnů jasných	40 - 50

*Tab. 13 Klimatické poměry oblasti pobočky ČHMÚ Ostrava-Poruba [9]*

Roční úhrn srážek v mm	677 – 720
Průměrná roční teplota ve °C	8,7

#### **Dílčí shrnutí:**

Přestože je objekt Aula + CIT mimořádně rozsáhlý, složitý a technicky unikátní, z hlediska základních přírodních podmínek je instalace možná.

### **9.3.2. Hydrogeologické a geologické poměry**

#### **Hydrografické a hydrogeologické poměry**

Z hlediska hydrologického náleží území do povodí Odry. Kvartérní hydrogeologický kolektor s průlinovou propustností je tvořen především glacilakustrinními písčými, méně pak glacifluviálními štěrky, jejichž mocnosti kolísají od 3 do 20 m. Mocnost narůstá směrem od východu k údolní nivě Odry. V těchto kvartérních strukturách se nachází cca 3 km východně od zájmové lokality podzemní zdroj pitné vody pro hromadné zásobování ostravské aglomerace, tj. jímací území Ostrava Nová Ves a Dubí. Ani vrtnou činností, ani pozdějším jímáním nízkopotenciální energie nemůže dojít k jeho negativnímu ovlivnění. Zvodnění spodnokarbonského flyše je v místě lokality málo významné. Základním typem lokálního zvodnění jsou puklinové až průlinové kolektory s napjatou hladinou, resp. výjimečně se mohou vyskytovat zvodně artézských typů.

#### **Geologické poměry**

Území je situováno na západním okraji Ostravské pánve, kde spodnobádenské sedimenty předhlubně Západních Karpat postupně vyklíňují na mírně se zvedající basement, který je tvořen moravskoslezským blokem spodního karbonu Českého masívu. Přirozený pokryv je tvořen kvartérními hlínami, zahliněnými písčými a štěrky, vátými písčými a místy sedimenty glacigenními. Geologické poměry byly ověřeny vrtným průzkumem hlubinnými vrty z povrchu řady NP (NP41, NP51, NP54, NP55), mělkými vrty řady ZP1 až ZP3 a výkopovými pracemi při samotné výstavbě. Zhruba 500 až 1000 m západně od zájmové lokality vychází spodní karbon na povrch. Tento horninový masív je tvořen flyšovými sedimenty kyjovických vrstev (rytmické střídání jílovců, prachovců a jemnozrnných drob). [9] Vzhledem k strukturně tektonické stavbě, zkonsolidované

variskými horotvornými pohyby, jsou flyšové horniny zvrásněny a úklony vrstev jsou značně proměnné od strmých poloh až po úseky subhorizontální. Komplex spodnokarbonských flyšových sedimentů na lokalitě dosahuje mocnosti několika kilometrů a tvoří homogenní těleso. Geologická situace viz **Příloha 3**.

*Tab. 14 Hloubka reliéfu karbonu ve vrtech řady NP [4]*

Vrt	Hloubky reliéfu karbonu
NP 49	118,7 m
NP 51	123,0 m
NP 54	147,0 m
NP 55	40,0 m

*Tab. 15 Ideový geologický profil předmětné lokality [9, 4]*

	interval v m	Horniny
Kvartér	0 až 17	Střídání jílu, písku a štěrku žlutohnědých
Miocén	17 až 100?	Šedomodré vápnité jíly s lokálními čočkami písku
Kulm	nad 100	Jílovce, prachovce, droby, bez uhelných slojí

Hloubka reliéfu karbonu byla stanovena s přihlédnutím k výsledkům vrtů řady NP orientačně na 100 m. Z geologických podmínek v dané oblasti bylo zřejmé, že převážná část vrtů bude procházet souvrstvím miocénních jílovců, pouze v závěru vrtu v hloubce okolo 80 m mohou být zastiženy skalní horniny spodního karbonu. Z hlediska zisku tepelné energie bylo provozně na obdobných lokalitách v minulosti ověřeno, že miocénní jíly se pohybují na úrovni očekávaného výkonu 50 W na metr vrtu, zatímco horniny spodního karbonu vykazují hodnoty až 70 W na metr vrtu. Vzhledem ke složité geologické stavbě se dvěma typy hornin z pohledu tepelné vodivosti zcela rozdílnými bylo doporučeno realizovat zkušební vrt. [4]

## Dílčí shrnutí

- při vrtání a pozdějším využívání vrtů nehrozí poškození podzemních zdrojů pitné vody;
- geologicky je lokalita složitá, na základě dosažitelných informací nebylo možno závazně stanovit počet a hloubky jednotlivých vrtů;

- s ohledem na velikost stavby a možná rizika při dimenzování bylo doporučeno realizovat 1 zkušební vrt do hloubky 130 m přímo na lokalitě. [4]

### 9.3.3. Zkušební vrty a testy teplotní odezvy

Na základě předcházejících teoretických a rešeršních etap bylo rozhodnuto o realizaci vrtného testu, který měl následující cíle:

- ověřit hloubku karbonu na okrajích zájmové lokality,
- ověřit hydrogeologickou situaci, tj. neexistenci významných podzemních zvodní,
- ověřit technologické možnosti vrtání až do hloubek 130 m,
- ověřit tepelnou vydatnost vrtů pomocí testu tepelné odezvy,
- otestovat dva druhy směsi pro injektáž vrtů.

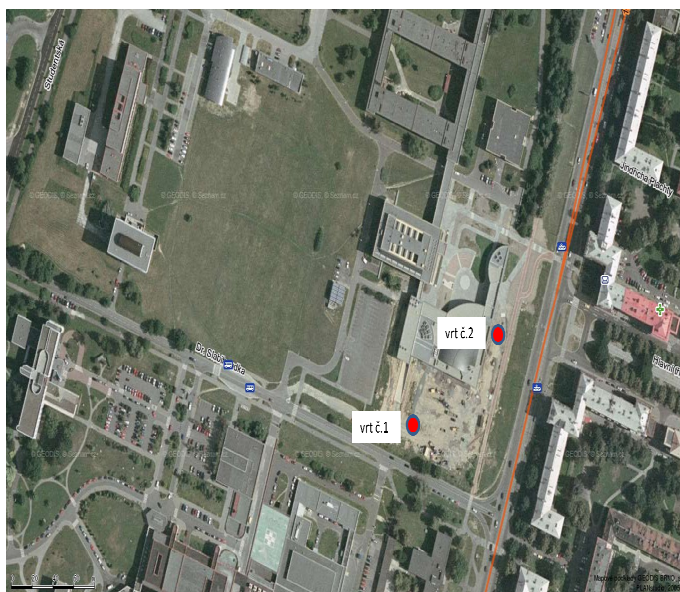
V únoru roku 2005 se uskutečnilo pracovní jednání se specialisty ze Švédska (Lund University), kteří měli rozsáhlé zkušenosti s dimenzováním primárních kolektorů tepelných čerpadel. Na základě závěrů z tohoto pracovního jednání byla přijata následující koncepce testu:

- budou odvrtány dva testovací vrty, vystrojené jednoduchou smyčkou HDPE 40 mm,
- každý z nich bude injektován jinou směsí,
- na každém z nich bude proveden test teplotní odezvy.

Projekt na práce byl zpracován a realizován společností Green Gas DPB, a.s., v březnu roku 2005 a obsahoval komplexní projekční řešení nejenom vrtných prací jako činnosti prováděné hornickým způsobem, ale rovněž provedení TRT. [38] V projektu byla stanovena následující technická, technologická, organizační a bezpečnostní opatření:

1. Vrtná souprava: Nordmeyer DSB 2/10, nosnost lafety 150 kN, maximální krouticí moment 10500 Nm, maximální přítlak 50 kN, maximální tah 100 kN, pohon dieselhydraulický.
2. Kompresor: Atlas Copco XRHS 385, maximální pracovní tlak 21 bar, maximální dopravované množství vzduchu 23 m<sup>3</sup>/min.

3. Konstrukce vrtů: do 25 m vrtný průměr 152 mm, manipulační pažnicová kolona průměr 146 mm, od hloubky 25 m vrtný průměr 120 mm až do projektované hloubky 130 m.
4. Vrtné trubky průměr 95 mm, jednotková délka 2 m, metrová hmotnost 16,5 kg/m.
5. Ponorné vrtné kladivo Atlas Copco COP 44.
6. Vrtná dláta Mitsubishi průměr 152 mm, Atlas Copco roubíková/třílístá dláta průměr 120 mm.
7. Vystrojení HDPE hadice s HDPE paticí, průměr 40 mm, síla stěny 3,6 mm, jednoduchá smyčka, materiál PE 100, PN 1,6.
8. Injektáž vrtu č. 1 standardní směsí, vrtu č. 2 speciální směsí Stüwa - Therm se zvýšenou tepelnou vodivostí.
9. TRT budou realizovat pracovníci Lund University pomocí kapotovaného testovacího zařízení na jednonápravovém podvozku.
10. Vrtý budou při zapouštění HDPE kolektorů pokusně vybaveny měřicími čidly, které zajistí VŠB-TU Ostrava.



*Obr. 28 Lokalizace zkušebních vrtů č. 1 a 2 [autor]*

### **Realizace vrtů**

Vrtý byly realizovány ve dnech 15. až 19. 3. 2005 za stálé přítomnosti technického dozoru a geologa. Manipulační pažení bylo provedeno do hloubek 30, resp. 28 m.

*Tab. 16 Geologický profil vrt č. 1 [autor]*

Vrt č.1	
Hloubkový interval v metrech	Geologický profil
0,0-2,0	Jíl žlutohnědý – kvartér
2,0-3,0	Jíl žlutohnědý se štěrkem – kvartér
3,0-8,5	Štěrký – kvartér
8,5-13,0	Štěrkopísek – kvartér
13,0-14,2	Písek jílovitý – kvartér
14,2-50,0	Jíl šedý – miocén
50,0-62,0	Jíl zelenošedý – miocén
62,0-130,7	Jílovce, prachovce, proplástky pískovce, v 97 m s křemenem – spodní karbon, v hloubce 105 m významný přítok vody

*Tab. 17 Geologický profil vrt č. 2 [autor]*

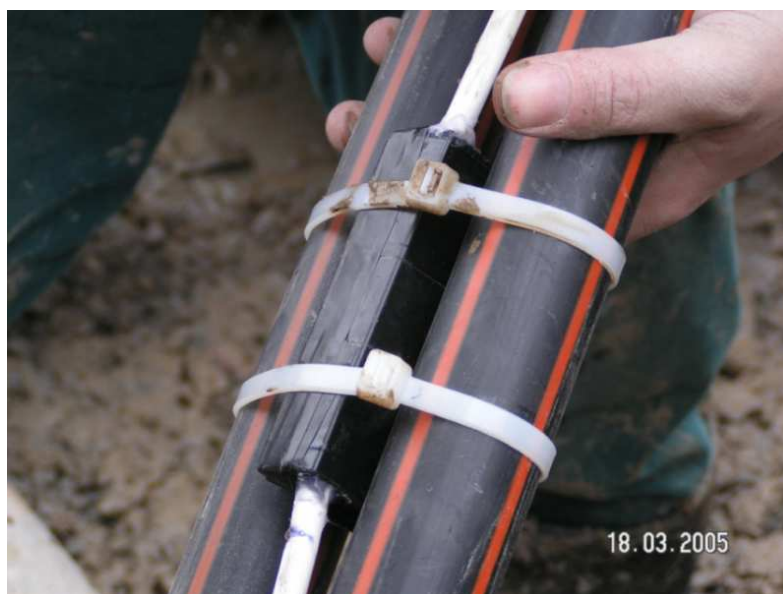
Vrt č.2	
Hloubkový interval v metrech	Geologický profil
0,0-2,0	Jíl žlutohnědý – kvartér
2,0-3,0	Jíl žlutohnědý se štěrkem – kvartér
3,0-13,0	Štěrkopísek – kvartér
8,5-13,0	Štěrkopísek – kvartér
13,0-14,0	Písek jílovitý – kvartér
14,2-78,0	Jíl zelený – miocén
78,0-83,5	Jíl rezavý – miocén
83,5-130,7	Jílovce, prachovce, proplástky pískovce - spodní karbon

*Tab. 18 Injektáž vrtu č. 1 [autor]*

Vrt č.1	
Celkový injektovaný interval	0,0 až 130,5 m
Počet injektážích etap	2
Cement	600 kg
Bentonit	600 kg
Voda	1600 l
Celkový objem směsi	1600 l

*Tab. 19 Injektáž vrtu č. 2 [autor]*

Vrt č.2	
Celkový injektovaný interval	0,0 až 130,7 m
Počet injektážích etap	2
Stüwa Therm	1375 kg
Voda	1300 l
Celkový objem směsi	1300 l



*Obr. 29 Teplotní čidla před zapuštěním do vrtu.1 [foto autor]*



*Obr. 30 Příprava injektážní směsi Stüwa Therm na vrtu č. 2 [foto autor]*

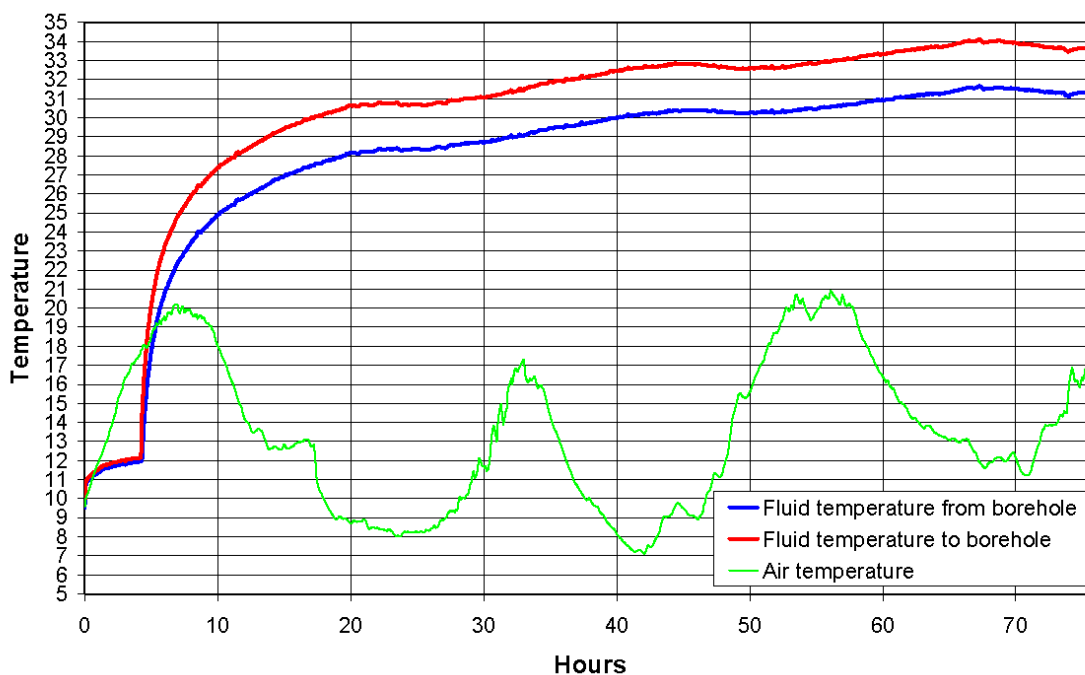


## Testy teplotní odezvy

Tab. 20 Základní parametry testu vrt č. 1 [12]

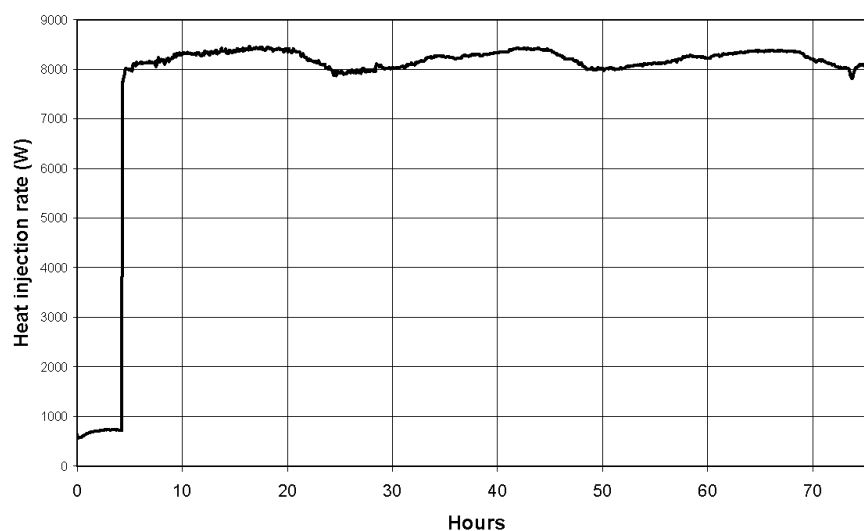
Vrt č. 1- průběh testu	
Doba trvání testu (celková)	75,4 hod.
Doba cirkulace bez topení (přirozená teplota hornin)	4,0 hod.
Doba trvání testu (topení do vrtu)	71,4 hod
Topný výkon při testu	8,2 kW
Zapnutí cirkulace	050405 v 07.50
Zahájení topení do vrtu	050405 v 12.10
Přerušení topení do vrtu	050408 v 11.15
Vypnutí cirkulace	050408 v 11.15
Množství tepla do teplotnosné kapaliny na metr vrtu	63 W/m
Průtok teplotnosné kapaliny (střední hodnota)	0,83 l/s

Graf 3 Měřené hodnoty vstupních a výstupních teplot vrt č. 1 [12]



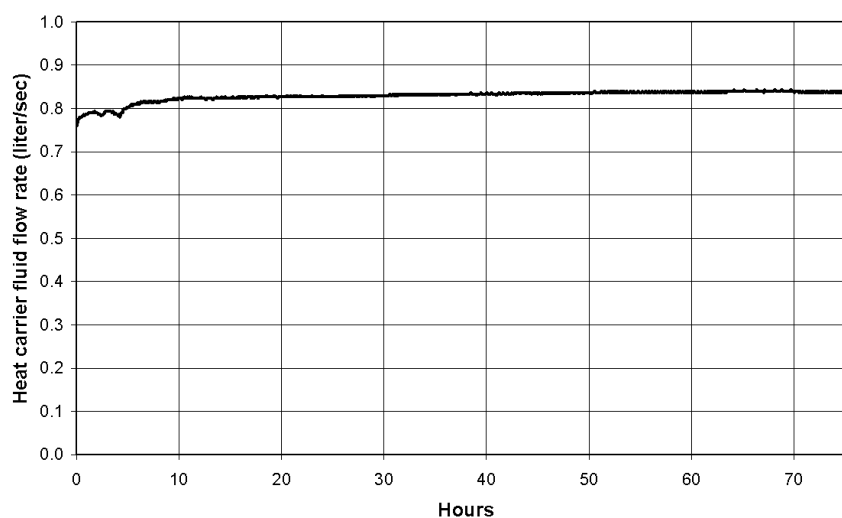
Fluid temperature from borehole – teplota kapaliny proudící z vrtu (°C); Fluid temperature to borehole – teplota kapaliny proudící do vrtu (°C); Air temperature – teplota okolního vzduchu (°C)

*Graf 4 Topný výkon do teplotnosné kapaliny vrt č. 1 [12]*



*Heat injection rate – topný výkon (W); Hours – hodiny*

*Graf 5 Hodnoty průtoku teplotnosné kapaliny během testu vrt č. 1 [12]*



*Heat carrier fluid flow rate – průtok teplotnosné kapaliny (l/sec); Hours - hodiny*

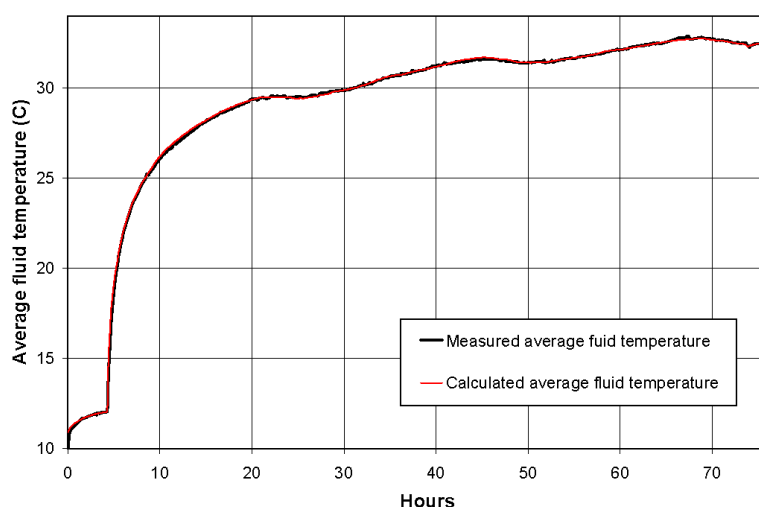
Vyhodnocení teplotní odezvy bylo provedeno matematickým modelováním založeným na metodě konečných rozdílů, kde se vyhodnotily změny topného výkonu na čase. Přenos tepla v podzemí je předpokládán pouze vedením. Hodnoty tepelné vodivosti hornin a teplotního odporu mezi teplotnosným médiem a stěnou vrtu jsou považovány jako proměnné. Nejlepší shoda mezi vypočtenými (modelovanými) a skutečně naměřenými

teplotami teplonosné kapaliny byla dosažena při dosazení následujících hodnot proměnných:

Tepelná vodivost hornin v podloží:  $2,168 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Teplotní odpor vrtu:  $0,164 \text{ K.W}^{-1}.\text{m}^{-1}$

*Graf 6 Měřená a simulovaná teplota teplonosné kapaliny pro simulované hodnoty  $2,17 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a  $0,164 \text{ K.W}^{-1}.\text{m}^{-1}$  vrt č. 1 [12]*

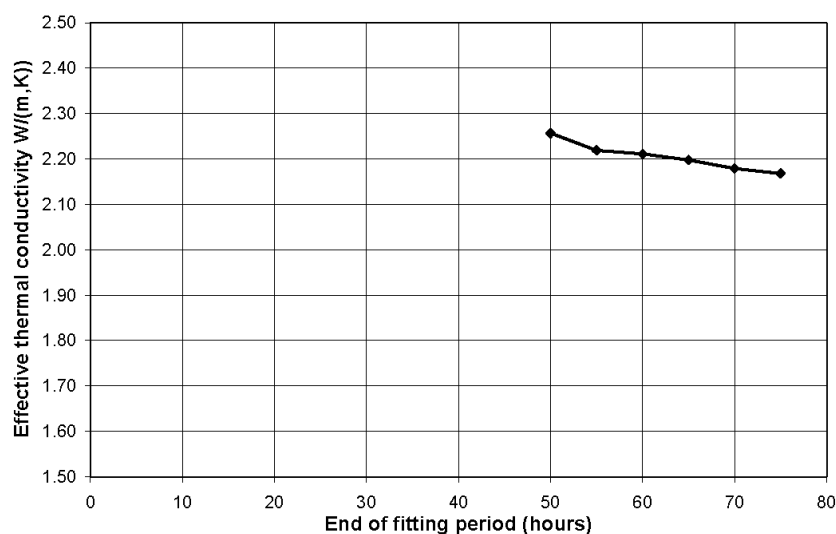


*Average fluid temperature (C) – průměrná teplota teplonosné kapaliny; Hours – hodiny; Measured average fluid temperature – měřená průměrná hodnota teplonosné kapaliny; Calculated average fluid temperature – vypočtená průměrná hodnota teplonosné kapaliny*

Testy rovněž prověřily vlivy lokálních hydrogeologických podmínek na přenos tepelné energie v horninovém masívu. Vliv proudících podzemních vod má za následek vyšší naměřené hodnoty teplot při testu, a tím i vyšší modelované hodnoty parametrů tepelné vodivosti a tepelného odporu vrtu ve srovnání s hodnotami, které by byly naměřeny bez vlivu proudící podzemní vody v jinak stejných geologických podmínkách. Je tedy nutno u každého testu posoudit vliv přenosu tepla prouděním.

Jestliže je na dané lokalitě soustavný vliv podzemní vody, zpravidla se tento efekt projeví tím, že modelované parametry tepelné vodivosti jsou tím vyšší, čím test déle trvá. Pro účely zjištění případného vlivu proudící podzemní vody bylo zahájeno modelování v 19,8 hod. po zahájení testu a bylo zvoleno několik časů ukončení, jak ukazuje graf 7.

Graf 7 Trend modelovaných hodnot tepelné vodivosti na konci testu vrtu č.1 [12]



*Effective thermal conductivity – tepelná vodivost  $W m^{-1} K^{-1}$  ; End of fitting period (hours) – časy ukončení jednotlivých testovaných intervalů (hodiny)*

Je zřejmé, že trend je spíše klesající, což je pravděpodobně dáno nepřesností měření. Je tedy možno usuzovat, že vliv podzemní proudící vody bude zanedbatelný.

Závěry TRT u vrtu č. 1:

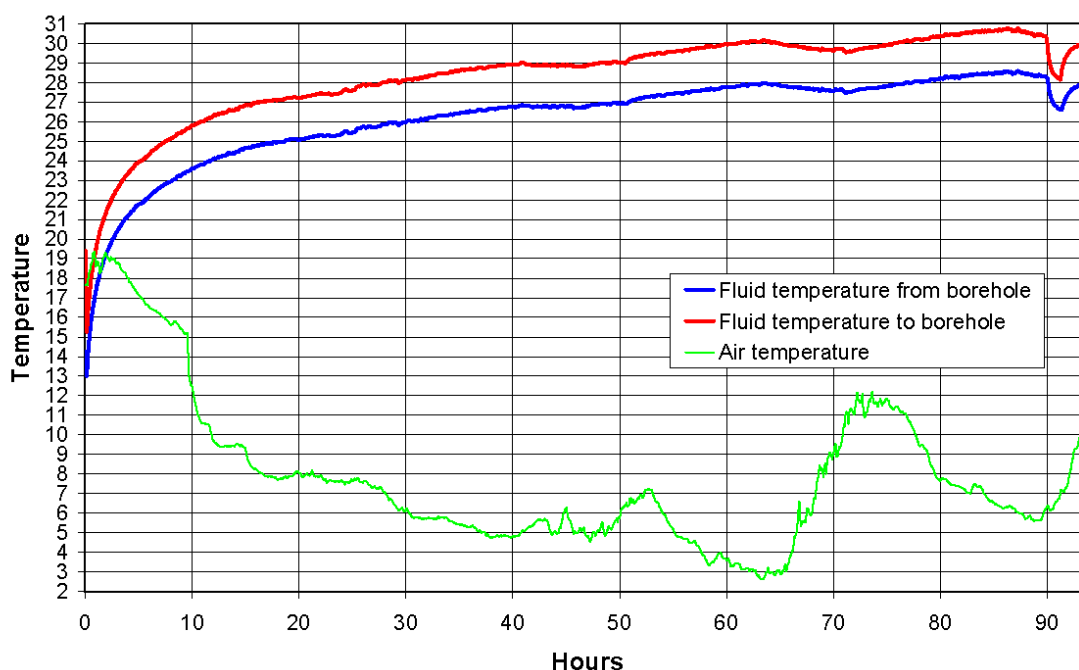
- neovlivněná průměrná teplota podložních hornin je  $10,8^{\circ}C$ ;
- doporučená hodnota parametru tepelné vodivosti hornin je  $2,2 W.m^{-1}.K^{-1}$ ;
- doporučená hodnota tepelného odporu vrtu je  $0,16 K.W^{-1}.m^{-1}$ ;
- doporučené hodnoty tepelné vodivosti a teplotního odporu vrtu jsou stanoveny jako průměrné pro celou délku vrtu;
- nebyl zjištěn efekt proudící podzemní vody;
- průtok teplotnosné kapaliny by neměl být menší než 0,5 l/s při maximálním zatížení (Reynoldsovo číslo musí být větší než 2500).

Tab. 21 Základní parametry testu vrt č. 2 [13]

Vrt č. 2- průběh testu	
Doba trvání testu (celková)	93,3 hod.
Topný výkon při testu	7,6 kW
Zapnutí cirkulace	050408 v 13.30
Zahájení topení do vrtu	050408 v 13.30
Přerušení topení do vrtu	050412 v 10.45
Vypnutí cirkulace	050412 v 10.45
Množství tepla do teplotnosné kapaliny (střední hodnota)	7610 W
Množství tepla do teplotnosné kapaliny na metr vrtu	59 W/m
Průtok teplotnosné kapaliny (střední hodnota)	0,87 l/s

Při tomto testu nebyla zjišťována přirozená teplota hornin, parametr byl převzat z testu předcházejícího.

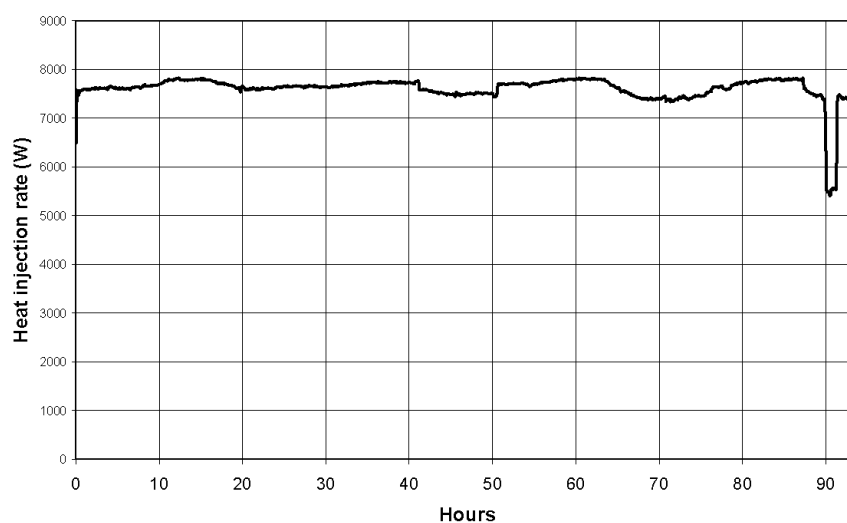
Graf 8 Měřené hodnoty vstupních a výstupních teplot vrt č. 2 [13]



Fluid temperature from borehole – teplota kapaliny proudící z vrtu (°C); Fluid temperature to borehole – teplota kapaliny proudící do vrtu (°C); Air temperature – teplota okolního vzduchu (°C)

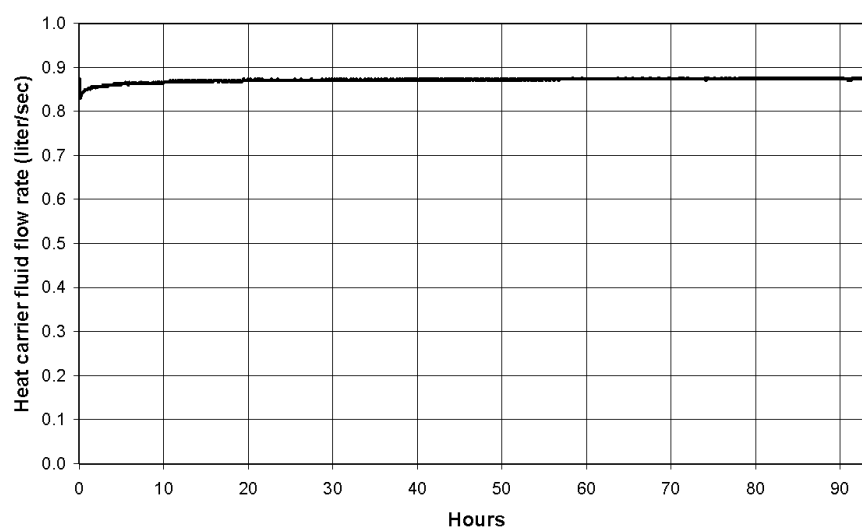
Topný výkon byl záměrně snížen po devadesáti hodinách trvání testu z hodnoty 7,6 kW na hodnotu 5,5 kW na krátký časový interval 80 min. aby bylo možno sledovat dynamické chování systému – viz graf 9:

*Graf 9 Topný výkon do teplotnosné kapaliny vrt č. 2 [13]*



*Heat injection rate – topný výkon (W); Hours – hodiny*

*Graf 10 Hodnoty průtoku teplotnosné kapaliny během testu vrt č. 2 [13]*



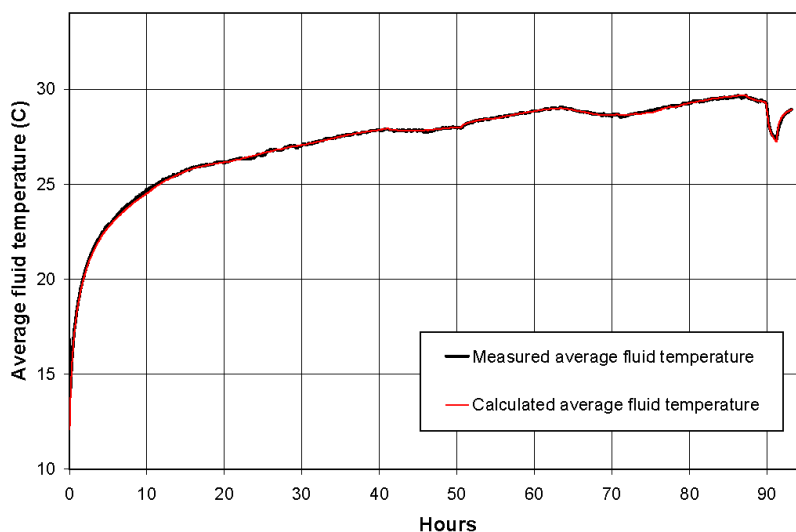
*Heat carrier fluid flow rate – průtok teplotnosné kapaliny (l/sec); Hours - hodiny*

Na základě stejných principů a použitých metod jako v případě vrtu č. 1 byly stanoveny parametry tepelné vodivosti hornin a teplotní odpor vrtu:

Tepelná vodivost hornin v podloží:  $2,116 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Teplotní odpor vrtu:  $0,122 \text{ K.W}^{-1}.\text{m}^{-1}$

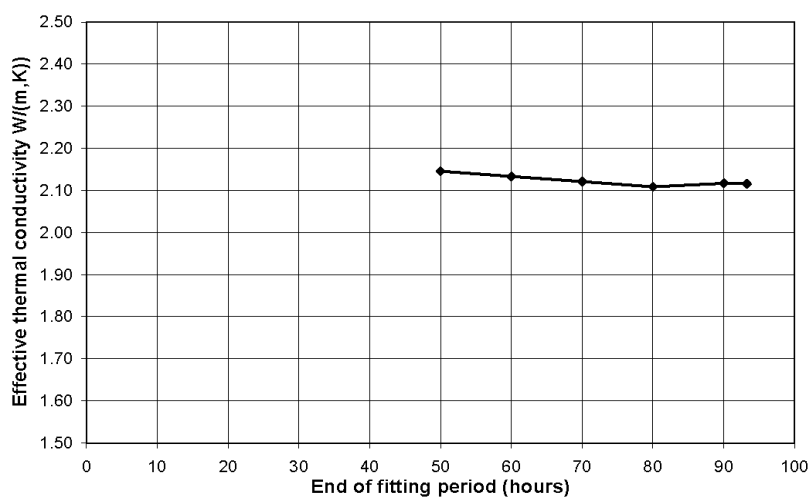
*Graf 11 Měřená a simulovaná teplota teplotnosné kapaliny pro simulované hodnoty  
2,12 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a 0,122 K.W<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup> vrt č. 2 [13]*



*Average fluid temperature – průměrná teplota teplotnosné kapaliny (°C); Hours – hodiny;  
Measured average fluid temperature – měřená průměrná hodnota teplotnosné kapaliny;  
Calculated average fluid temperature – vypočtená průměrná hodnota teplotnosné kapaliny*

Během vrtání vrtu nebyly zjištěny přítoky vod. Hydrodynamické poměry lokality vrtu č. 2 byly prověřeny stejným způsobem jako u vrtu č. 1 s následujícím výsledkem.

*Graf 12 Trend modelovaných hodnot tepelné vodivosti na konci testu vrtu č.2 [13]*



*Effective thermal conductivity – tepelná vodivost W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> ; End of fitting period – časy ukončení jednotlivých testovaných intervalů (hodiny)*

Výsledek ukazuje, že vliv proudící podzemní vody je zanedbatelný.

Závěry TRT u vrtu č. 2:

- neovlivněná průměrná teplota podložních hornin je 10,8 °C;
- doporučená hodnota parametru tepelné vodivosti hornin je 2,1 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>;
- doporučená hodnota teplotního odporu vrtu je 0,12 K.W<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>;
- doporučené hodnoty tepelné vodivosti a teplotního odporu vrtu jsou stanoveny jako průměrné pro celou délku vrtu;
- nebyl zjištěn efekt proudící podzemní vody;
- průtok teplotonosné kapaliny by neměl být menší než 0,5 l/s při maximálním zatížení (Reynoldsovo číslo musí být větší než 2500).

### **Závěry z realizace a vyhodnocení testů**

A:

Vrtáním bylo potvrzeno, že je nutno počítat s různými hloubkami zastižení karbonu na různých místech uvnitř zájmové plochy, přestože je lokalita relativně plošně malá. Tato skutečnost má vliv na předpokládané průměrné tepelné vlastnosti horninového bloku. Karbonské horniny mají vyšší tepelnou vodivost než jílové horniny miocénu, viz následující tabulka [12, 13]:

*Tab. 22 Tepelné vodivosti hornin na lokalitě Aula+CIT [12, 13]*

Horniny	Tepelné vodivosti W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>		
	Minimum	Doporučeno	Maximum
Jíl	0,90	1,60	2,20
Jílovec	1,05	2,20	3,02
Prachovec	1,28	2,30	5,10
Pískovec	1,31	2,40	3,52

Nižší hodnota tepelné vodivosti vrtu č. 2 je s největší pravděpodobností způsobena právě vlivem vyššího podílu jílových hornin miocénu. Přestože tento vliv není významný, vede ke konzervativním vstupním hodnotám tepelné vodivosti pro další výpočty.



B:

Vliv proudících podzemních vod byl testy vyloučen, přestože byl prvním vrtem zachycen významný přítok vody. Po odebrání vzorku a provedených analýzách bylo zjištěno, že se jedná o vodu slabě mineralizovanou, sodno-bikarbonátovou, infiltrovanou do karbonského masivu z povrchu. [25] Přítomnost proudící podzemní vody s významnou dynamikou a vlivem na způsob přenosu tepla byl vyloučen.

C:

Bylo prověřeno, že použitá technika a technologie vrtání je vhodná pro místní podmínky. Na základě provedených testů je možno předpokládat, že výkon vrtné soupravy v daných geologických podmínkách zaručí vysokou efektivitu vrtných prací minimálně do 140 m hloubky. Vrty byly realizovány včetně nezbytné doby transportu a nestandardních operací (instalace teplotních čidel) za dobu 5 dnů. Rychlost vrtání a souvisejících technologických operací byla uspokojivá. Bylo zjištěno podstatně vyšší opotřebení injektážního čerpadla v případě začerpávání směsi Stüwa – Therm. Důvodem je vysoký obsah jemně mletého křemene ve směsi, a tím i její vysoká abrazivnost.

D:

Z hlediska funkčnosti instalovaných teplotních čidel bylo zjištěno, že instalace jako technologická operace je realizovatelná. Negativní bylo zjištění, že samotná čidla po zapuštění do vrtů téměř okamžitě přestávají fungovat.

E:

Výrazně nižší teplotní odpor vrtu č. 2 byl dán použitou injektážní směsí s vyšší tepelnou vodivostí.

F:

Na základě měření a vyhodnocení TRT byl stanoven dílčí závěr, že pro výpočty celkové metráže a rozmístění vrtů bude přijata hodnota tepelné vodivosti  $2,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a teplotního odporu vrtu  $0,16 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  s tím, že bude prověřena varianta teplotního odporu  $0,12 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ . Tyto hodnoty budou závazné pro následné modelování pomocí programu EED 2.

G:

Účastníci řešitelského týmu dospěli k závěru, že pro tak významný zdroj tepla je nezbytné detailně ověřit všechny projekční vstupy při pozdějším provozu topné soustavy. Následně byl logicky formulován požadavek na průběžné sledování rozložení teplotního pole v ovlivněném horninovém prostředí a jeho změn při topení/chlazení objektu. Z diskuse vyplynul úkol vyprojektovat tzv. měřicí polygon, který bude začleněn do primárního kolektoru.

### 9.3.4. Výpočet pomocí EED 2

Pro dimenzování primárního kolektoru s využitím počítačového programu EED 2 byla využita data, získaná z provedených testů teplotní odezvy na vrtech č. 1 a č. 2. [12, 13] Základní vstupní údaje, týkající se energetických parametrů stavby, byly převzaty z energetického auditu [19] a ze znalosti aktuálních projekčních požadavků.

*Tab. 23 Základní vstupní údaje výpočtu [autor]*

Topný výkon tepelných čerpadel	650 kW [28], aktuálně 698 kW
Očekávaný chladicí výkon tepelných čerpadel	325 kW [28], aktuálně 250 kW
Tepelná energie vyrobená tepelnými čerpadly za rok	1352 MWh [28]
Průměrná měsíční teplota vzduchu v roce 2002	8,45 °C
Litráž oběhového čerpadla	3,4 l/s (odhad)
Tepelná vodivost horninového masívu	2,15 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Teplotní odpor vrtu – klasická injektážní směs	0,16 K.W <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>
Teplotní odpor vrtu – Stüwa - Therm	0,12 K.W <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>

Výpočet byl proveden pro modelový horninový blok náležející jedné šachtici, tj. pro 24 vrtů v konfiguraci 6 x 4, (v programu je ekvivalentní g – funkce č. 264). Výše tepelné spotřeby byla kalkulována jako jedna pětina projektované spotřeby tepelné energie, tj. 270,4 MWh. Výpočet byl realizován ve dvou variantách, jedna pro klasickou injektážní směs a jedna pro injektážní směs Stüwa – Therm. Výpočet je nutno brát jako orientační zejména z následujících důvodů:

- nebylo zohledněno dobíjení vrtů tepelnou energií odebranou objektu při jeho klimatizaci;

- spotřeba tepelné energie objektu byla dosazena v jednotlivých měsících odborným odhadem, detailní rozbor spotřeby tepelné energie po měsících nebyl k dispozici;
- v České republice byl výpočet pro tak velkou stavbu proveden poprvé.

Detaily výpočtu jsou uvedeny v **Příloze 4**. Výsledky přehledně ukazuje následující tabulka:

*Tab. 24 Výsledky počítačového modelování [autor]*

<b>Parametry vrtů</b>	<b>Klasická injektážní směs</b>	<b>Stüwa - Therm</b>
Hloubka vrtů	130 m	130 m
Orientační celková metráž	cca 15 000 m	cca 14 000 m
Počet vrtů	116 ks	108 ks
Vzdálenosti mezi vrty	10 m	10 m

### 9.3.5. Projekt primárního kolektoru

Podklad pro projekt primárního kolektoru byl zpracován na základě několika vzájemně se doplňujících úvah a vstupů:

- zkušenosti z podobných instalací ze zahraničí,
- zkušenosti z analogického případu podobné stavby, tj. z druhé největší instalace tepelných čerpadel s vrty v České republice v městské víceúčelové hale v Opavě,
- znalost klimatických poměrů lokality,
- detailní znalost geologických a hydrogeologických poměrů lokality z realizace dvou zkušebních vrtů,
- znalost výsledků dvou TRT, realizovaných na lokalitě,
- orientační výpočet metráže pomocí počítačového programu EED 2.

Městská víceúčelová hala v Opavě je vytápěna a částečně i klimatizována tepelnými čerpadly o celkovém topném výkonu 455 kW pomocí 81 ks vrtů o hloubce 100 m, celková metráž je tedy 8 100 m. Hala byla v době projektování Auly+CIT v provozu dvě topné sezóny. Tehdejší zkušenosti byly velmi dobré, teplota na vstupu z vrtů do tepelných čerpadel neklesla pod 0 °C. Nedocházelo (a ani dnes nedochází) k poklesu této teploty v čase, což by signalizovalo postupné vychlazování horninového masívu, a tedy špatně nadimenzovaný kolektor. Záložní zdroj tepla, plynový kotel, prakticky nebyl využíván.

Z uvedených skutečností vyplývá, že primární kolektor byl nadimenzován správně. Pro srovnání obou lokalit bylo nutno porovnat jejich geologické profily.

*Tab. 25 Porovnání geologických profilů lokalit Opava a Ostrava - Poruba [autor]*

<b>Opava</b>	<b>Ostrava - Poruba</b>
0-4 m: antropogenní navážka	0-14 m:kvartér, písky a štěrky bez zvodnění
4-15 m: kvartér, zvodnělé štěrkopísky	14-62(83) m: miocén, jíly
do 100 m: miocén, jíly s vložkami zvodnělých štěrků	do 130 m: spodní karbon, jílovce, prachovce, pískovce

Z přehledu vyplývá:

- na lokalitě Opava se vyskytovaly přítoky podzemní vody v kvartérních štěrkopíscích a u mnoha vrtů i v pískových vložkách miocénu, přítoky byly poměrně silné a dynamika proudění z hlediska přenosu tepla významná;
- na lokalitě Ostrava - Poruba se přítok podzemní vody vyskytnul jen na jednom vrtu, během TRT byl ale i tento přítok vyhodnocen jako nevýznamný;
- na lokalitě Ostrava - Poruba byly zastiženy skalní horniny s lepšími parametry tepelné vodivosti.

Z technického hlediska lze orientačně stanovit průměrný tepelný výkon z jednoho metru vrtu jako podíl celkového topného výkonu a celkové metráže (specifický tepelný tok). Tato orientační hodnota je v Opavě  $56 \text{ W.m}^{-1}$ . Na lokalitě Ostrava - Poruba bylo možno konzervativně předpokládat horší hodnotu pro nevýznamné přítoky a proudění podzemních vod. Na základě německých zkušeností z obdobných geologických podmínek byl stanoven orientační specifický tepelný tok na  $45 \text{ W}$ . Z této úvahy vyplynul požadavek na celkovou metráž 14 500 m v lokalitě Auly+CIT.

Jak bylo uvedeno výše, byly realizovány dva testy teplotní odezvy a byl proveden orientační výpočet metráže programem EED 2. Výsledkem byla doporučená hodnota celkové metráže pro dva typy injektážní směsi. Snížení metráže u směsi Stüwa Therm nebylo tak významné, jak se původně očekávalo. Vzhledem k ceně této směsi a k vysokému opotřebení injektážních čerpadel byla varianta klasické injektážní cemento – bentonitové směsi s vyšší celkovou metráží vyhodnocena jako ekonomičtější.

## **Závěr:**

Doporučená hodnota celkové metráže byla přijata na úrovni minimálně 15 000 m. Vrtý budou od sebe vzdáleny min. 10 m a budou minimálně 130 m hluboké. Jejich počet bude 116 ks. Injektovány budou klasickou cemento – bentonitovou směsí. Projektant [17] s ohledem na rizika, technické možnosti vrtné soupravy a prostor, který byl na stavbě pro realizaci vrtů k dispozici, stanovil následující konečné hodnoty:

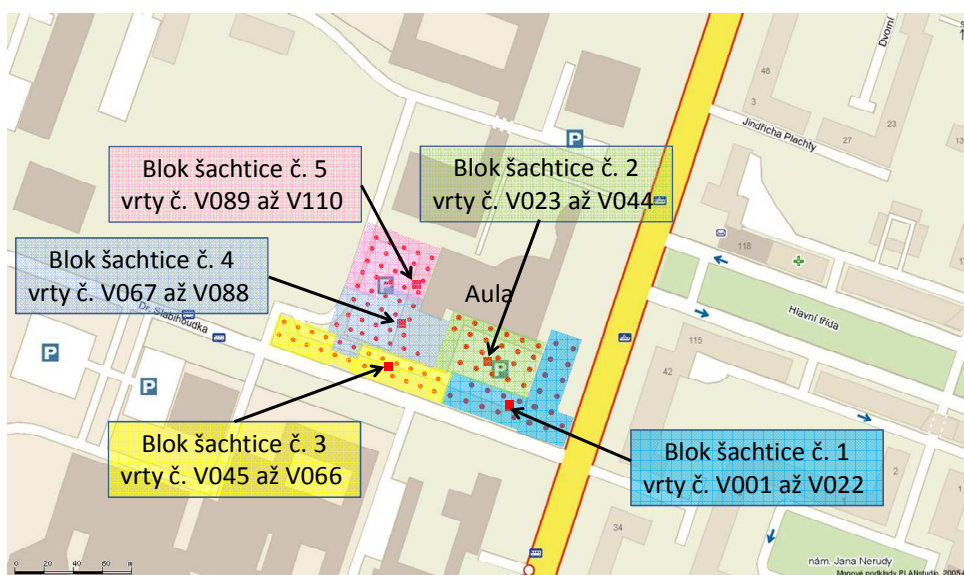
*Tab. 26 Přehled základních projektovaných parametrů [autor]*

Celková metráž vrtaného kolektoru	15 400 m
Počet vrtů	110 ks
Hloubka každého vrtů	140 m
Rozmístění vrtů	min. 10 m od sebe
Injektážní směs	Cement – bentonit
Typ HDPE potrubí	Čtyřkolona průměr 32 mm

Rozmístění vrtů viz **Příloha 5**.

## **9.4. Realizace primárního kolektoru**

Realizační projekt topení zpracovala společnost Hegas s.r.o. [17] Projekt vrtů v rozsahu požadavků vyhlášky ČBÚ 239/1998 Sb. zpracovala společnost Green Gas, a.s. [20] Rozmístění vrtů bylo rozvrženo do pěti skupin, každá skupina po 22 vrtech, které byly propojeny do šachtice. Bylo vyčleněno pět horninových bloků, každý z nich je tvořen 22 ks vrtů a jednou sběrnou šachticí. Každá z pěti šachtic je napojena zvlášť na své vlastní oběhové čerpadlo ve strojovně kotelny. Výtlak z každého čerpadla je propojen do jednoho sběrného potrubí, vedoucího k tepelným čerpadlům. Technické řešení umožňuje pružně regulovat získávání tepelné energie z jednotlivých horninových bloků nebo její ukládání do těchto bloků. Všechny rozhodující parametry otopného systému jsou průběžně měřeny a data jsou uchovávána v řídicím počítači.



Obr. 31 Schéma rozmístění vrtů a horninových bloků v okolí objektu Auly + CIT [autor]

Generální dodavatel stavby společnost OHL ŽS, a.s., zpracovala časový harmonogram provádění vrtů. Po nezbytných administrativních úkonech (Stavební povolení Výst. 2199/05/Cies. a ohlášení na OBÚ 073/06/2006) bylo vrtání zahájeno 21. 6. 2006. Na pracovišti byly nasazeny tři vrtné soupravy a práce probíhaly v prodloužených směnech včetně sobot a nedělí. Vrtané práce byly ukončeny dne 23. 8. 2006. Během vrtání se potvrdily předpoklady, zjištěné při přípravných etapách.

Tab. 27 Přehled dosažených parametrů vrtání [autor]

Počet vrtů	110
Metráž realizovaná červen – srpen 2006	15319,4 m
Počet člověkosměn na metráž červen – srpen	571
Dosažený výkon	26,8 m/hl/sm
Metráž využitá z TRT vrtů z roku 2005	130,6
Celková metráž primárního kolektoru	15 450 m



*Obr. 32 Ukázka realizace vrtů pro tepelná čerpadla na lokalitě Aula + CIT [foto autor]*



*Obr. 33 Napojení vrtů v šachtici č. 4 [foto autor]*

Po odvrtání vrtů byly jednotlivé vrty napojeny do šachtic podle projektu jako součást celé technologie vytápění, viz **Příloha 6**.

## 9.5. Měřicí polygon

Pro dlouhodobé zkoumání dynamických změn teplotních vlastností horninového masívu byl v rámci stavby vyprojektován a realizován speciální měřicí polygon, později označen jako velký výzkumný polygon. Tento unikátní systém byl vyprojektován v červnu roku 2006 a instalován v srpnu téhož roku. Parametry byly stanoveny po konzultaci s odbornými pracovníky specializovaného pracoviště katedry Aplikované geologie z technické university v Karlsruhe, Německo.

Cíle výzkumných prací:

- detailní sledování topného/chladicího výkonu dané skupiny vrtů v horninovém bloku,
- výzkum teplotního pole hornin v okolí sledované skupiny vrtů v závislosti na skutečném provozu vytápěného/chlazeného objektu,
- verifikace projektovaných parametrů, na jejichž základě byl primární kolektor dimenzován,
- zdokonalení analytických a numerických modelů teplotního pole v horninách, popřípadě vytvoření modelu nového,
- vyhodnocení použitelnosti stávajících počítačových programů pro hydrogeologické modelování teplotního pole,
- ověření technického řešení instalace a provozu teplotních čidel ve vrtu z hlediska přesnosti, umístění a životnosti.

Technické řešení: [44]

Monitoring teplotního pole hornin v měřicím polygonu je prováděn ve vrtech určených pro vytápění/chlazení objektu a ve speciálně odvrtaných vrtech určených jen pro účely měření teplot hornin. Vrtů pro vytápění/chlazení objektu jsou označeny jako vrty provozní, vrty odvrtané a vystrojené pouze pro měření teplotního pole jako měřicí. Měřicí vrty slouží k měření teplot v podzemí horninového bloku u šachty č. 4 v případě, kdy bude tento blok v provozu. Umožní v linii sledovat chování teplotního pole mezi provozem ovlivněnou a neovlivněnou horninou. Provozní vrty slouží k prostorovému měření průběhu teplotního pole v okamžiku, kdy bude šachta č. 4 odstavena z provozu a teplo bude



odebíráno/ukládáno do okolních horninových bloků, napojených zejména na šachtice 3 nebo 5.

### **Provozní vrty**

Pro měřicí polygon byla vybrána skupina 10-ti vrtů ve dvou rovnoběžných řadách (VO 71, VO 73, VO 75, VO 77, VO 79, VO 81, VO 82, VO 84, VO 86 a VO 88), které jsou napojeny na sběrnou šachtici č. 4. Teplotní měření ve vrtech se provádí pomocí čidel natrvalo zapuštěných na samostatných kabelech do různých hloubkových úrovní ve vrtech. Teplotní snímače s kabelem jsou fixovány k PE-kolektorům a společně s nimi zapuštěny do vrtů. Provozní vrty polygonu jsou vystrojeny teplotními snímači s 4-žilnými kabelem, a to 6 ks snímačů v každém vrtu. Teplotní snímače s kabelem jsou ve vrtech umístěny následovně:[16]

- 4 snímače na vstupní větev kolektoru do vrtu (studená větev, označení modrá) v hloubkách 20m, 50m, 100m a 140m,
- 2 snímače na výstupní větev z vrtu (teplá větev, označení červená) v hloubkách 20m a 100m.

Specifikace teplotních snímačů s kabelem:

- dodavatel fa. SENSIT – HOLDING, s.r.o., Rožnov p. Radhoštěm,
- teplotní čidlo Pt-1000, třída A, krytí IP67,
- pouzdro čidla – nerez 17240, průměr 8mm, délka 50mm,
- kabel PVC čtyřžilný typu LiYCY 4 x 0,34 mm<sup>2</sup>, stíněný, průměr 5,7mm,
- pouzdro čidla zajištěno proti průniku vlhkosti, resp. cementobentonitové injektážní směsi,
- tlaková odolnost čidla do 20 barů, rozmezí teplot ve vrtu -100C až +200C.



*Obr. 34 Měřicí teplotní čidlo Pt - 100 [foto autor]*

Čidla s kabely jsou dokumentovaným způsobem fixována k trubkám kolektoru a zapařena do vrtu tak, aby se maximálně snížila pravděpodobnost jejich poškození. Všechny kabely od čidel jsou spojeny na ústí vrtů v plastových krabicích s průchodkami s krytím min. IP67 pomocí svorek. Následně jsou svedeny souběžně s potrubím od vrtů do šachtice č. 4 přes vodoodolné průchodky.

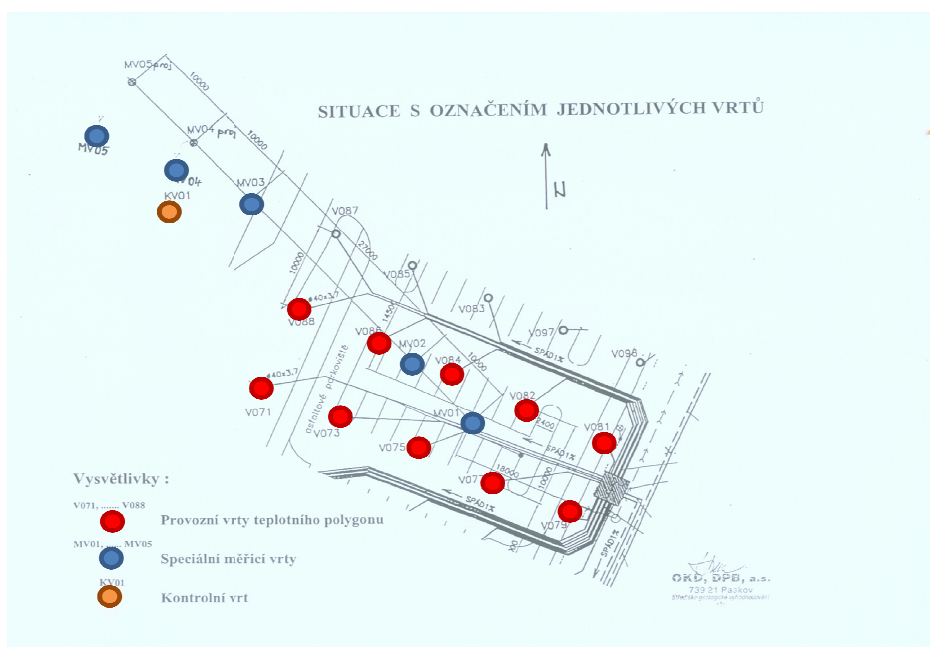
### **Měřicí vrty**

Navíc bylo odvrtáno 5 ks speciálních měřicích vrtů (MV-1 MV-2, MV-3, MV-4 a MV-5), které nejsou napojeny na tepelná čerpadla, ale slouží pouze pro měření teplot horninového masivu. Tyto vrty leží na jednom zalomeném měřicím profilu napříč polygonem a mají stejnou hloubku jako vrty provozní – tj. 140m. Dva měřicí vrty jsou umístěny mezi vybranými provozními vrty vystrojenými teplotními čidly, zbývající tři jsou umístěny mimo výzkumný polygon. Cílem je získat celkový teplotní profil horninového masivu, který je ovlivněn čerpáním /ukládáním tepla při provozu tepelného čerpadla. Technicky jsou vrty provedeny stejně jako vrty provozní. Teplotní čidla jsou umístěna v hloubkách 20, 50, 100 a 140 m. [16]

### **Kontrolní vrt**

Součástí výzkumného polygonu je rovněž kontrolní vrt (KV-1) o hloubce 140m realizovaný na travnaté ploše nad horní (severní) částí parkoviště. Tento vrt je vystrojen PE závitovou pažnicovou kolonou o vnějším průměru 63 mm. Pažnicová kolona je

perforována, mezikruží je utěsněno pomocí bentonitových peletek. Vrt slouží pro dlouhodobou kontrolu kolísání hladiny podzemní vody a pro geofyzikální měření. Ústí vrtu je vybaveno skruží DN 800 s kanalizačním poklopem pro přístup k zapouštění hladinoměru a geofyzikálních sond do ochranné kolony.



*Obr. 35 Situace rozmístění vrtů měřicího polygonu Aula + CIT [16, autor]*

Tento měřicí polygon, tzv. velký, byl vyprojektován a realizován jako integrální součást primárního výměníku otopného systému Auly+CIT. V souvislosti se záměry komplexního vědeckého výzkumu byla paralelně zahájena výstavba tzv. malého polygonu v blízkosti Energetického centra VŠB – TU Ostrava, které je vzdáleno přibližně 250 m od šachty č. 4. Na této lokalitě byly v období výstavby velkého polygonu realizovány dva vrty, na kterých byla ověřena technologie instalace a zapouštění měřicích teplotních čidel. Malý polygon má hlavní cíl sledovat průběh teplotního pole horninového masivu nezávisle na vytápění objektu Aula+CIT prakticky za stejných geologických, hydrogeologických, klimatických a technických podmínek.

Myšlenka vytvoření systému, umožňujícího měřit průběh teplot v horninách v závislosti na provozu tepelného čerpadla s primárním výměníkem s hlubinnými vrty, není nová. Obdobné výzkumné polygony byly již v minulosti realizovány ve Švédsku a

v Německu. Nově je například instalován podobný polygon v budově společnosti Veskom v Praze, která je rovněž vytápěna pomocí tepelných čerpadel firmy IVT. Instalace „velkého“ a „malého“ polygonu na půdě VŠB – TU Ostrava je však jednoznačně unikátní ve světovém měřítku. Do budoucna poskytuje data pro další výzkum tepelných vlastností mělkých částí zemské kůry a možností praktického využití zemského tepla jako obnovitelného zdroje energie.

*Tab. 28 Přehled metráže zkušebních a měřících polygonů z roku 2006 [autor]*

Účel vrtů	počet vrtů (ks)	celková metráž (m)
monitorovací vrty - velký polygon	5	701,4
kontrolní vrt	1	140,0
zkušební vrty - malý polygon	2	280,0
celkem	8	1 121,4

## 9.6. Poznatky z provozu velkého výzkumného polygonu

Provoz Auly+CIT byl zahájen na podzim roku 2006. Od této doby je rovněž provozován systém topení/chlazení objektu. Pro vyhodnocování vztahů mezi provozním režimem topení/chlazení Auly+CIT a chováním horninového masivu jsou měřena a uchovávána data z provozu kotelný a z čidel, umístěných na vrtech v bloku šachtice č. 4. Ve strojovně kotelný je sledováno a archivováno od počátku provozu kotelný v roce 2006 celkově 236 typů provozních údajů. Hodnoty jsou měřeny každých 10 minut, a to analogovým nebo binárním způsobem. Sledují se zejména polohy ovládacích armatur, doby chodu tepelných čerpadel, oběhových čerpadel, teploty a tlaky médií, venkovní teplota, energie, výkony. Z vrtů jsou měřeny a zaznamenávány teploty na jednotlivých hloubkových úrovních. Pro splnění stanovených cílů výzkumu jsou důležitá data, týkající se primární strany topného systému. Na sekundární straně, tj. za tepelnými čerpadly, jsou podstatná data o celkových výkonech topení jednotlivých topných okruhů – tj. ústředního topení, vzduchotechniky a chlazení.

## Současný stav velkého výzkumného polygonu

Po instalaci teplotních čidel v roce 2006 bylo zjištěno, že během dvou let činnosti přestala řada čidel pracovat, některá z nich měřila nesmyslné hodnoty. Po analýze problému se přistoupilo ke kontrole propojení čidel vedoucích z každého vrtu ke sběrné kabeláži. Rovněž bylo zkontrolováno napojení sběrné kabeláže v šachtici č. 4. Kontrola ověřila neuspokojivý stav propojení na jednotlivých vrtech. Vlivem nekvalitního napojení vnikla do připojovacích krabic vlhkost. Následující koroze způsobila fyzickou destrukci kabelů, a tím i nemožnost přenosu dat z jednotlivých teplotních čidel. V současné době byly dokončeny opravy napojení, zajišťující bezpečný přenos dat.



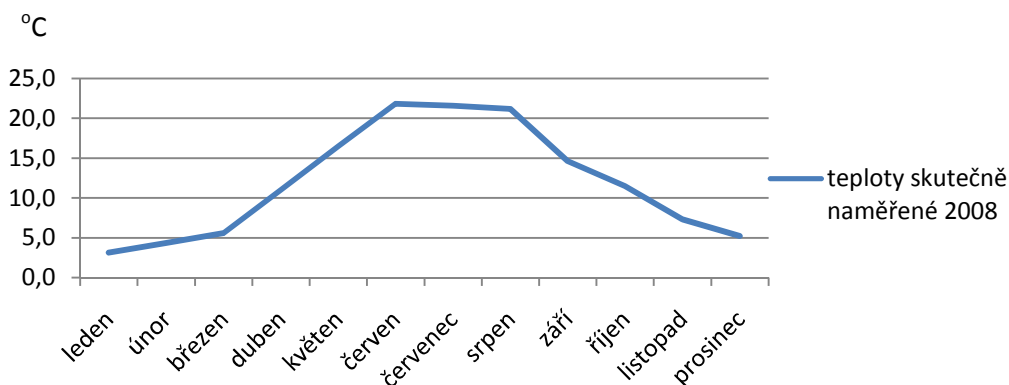
*Obr. 36 Ukázka nekvalitního napojení teplotních čidel-  
zkorodovaná spojka [foto archiv VŠB - TUO]*

Aktuální data o základních funkcích kotelny jsou průběžně zpracovávána a prezentována ve vnitřním informačním systému VŠB – TU. Jedna z vizualizací je umístěna v blízkosti vchodu do nové auly. Detailnější zpracování dat včetně zpracování naměřených teplot se provádí doposud ručně z klasických tabulkových kalkulátorů. Vzhledem k tomu, že měřených dat jsou velká množství a záměrem je měřit hodnoty po dobu desítek let, je dalším logickým krokem vytvoření účelového software, jehož pomocí bude možno data průběžně a uživatelsky snadno vyhodnocovat.

## Demonstrační vyhodnocení průběhu topení a měření v roce 2008

Nehledě na prvotní obtíže je možno s daty pracovat a na ukázkách nastínit možnosti vyhodnocování, které měření poskytuje. Jako vzor byla použita data za rok 2008. V tomto roce byl průběh venkovních teplot nad dlouhodobými průměry, tomu odpovídal i provoz kotelny.

*Graf 13 Průběh teplot v lokalitě v roce 2008 [data kotelna]*



K tomu, aby bylo možno porovnávat odběry energie z jednotlivých horninových bloků, je nutno znát celkovou energii za rok, která byla dodána z primárního do sekundárního okruhu (a naopak v případě ukládání tepla). Z měřených hodnot lze zjistit teplo, dodané do vzduchotechniky, ústředního topení a rovněž dodaný chlad. Teplo na ohřev teplé užitkové vody je velmi malé a můžeme ho pro demonstrativní účely zanedbat.

*Tab. 29 Přehled vyrobené a spotřebované energie v roce 2008 [data kotelna]*

	chlad		vzduchotechnika		ústřední topení		celkem
	GJ	MWh	GJ	MWh	GJ	MWh	
leden	0	0	75	20 863	268	74 506	95 369
únor	0	0	29	8 084	307	85 229	93 313
březen	0	0	33	9 167	271	75 200	84 368
duben	0	0	17	4 584	111	30 947	35 531
květen	19	-5 223	4	1 167	10	2 639	-1 417
červen	0	0	0	0	0	0	0
červenec	0	0	0	0	0	0	0
srpen	0	0	0	0	0	0	0
září	0	0	15	4 111	28	7 890	12 001
říjen	0	0	18	4 862	64	17 696	22 557
listopad	0	0	50	14 001	115	31 947	45 948
prosinec	0	0	41	11 501	103	28 502	40 003
<b>celkem</b>	<b>19</b>	<b>-5 223</b>	<b>282</b>	<b>78 340</b>	<b>1 276</b>	<b>354 556</b>	<b>427 673</b>

Z uvedených dat vyplývá, že požadavky na topení v roce 2008 byly skutečně nízké. Podle [19] byl celý systém dimenzován na výrobu 1352 MWh za rok, aktuální hodnota za rok 2008 byla zaokrouhlena 430 MWh, což je přibližně třetina projektované hodnoty. Ukládání tepla bylo z hlediska množství v roce 2008 bezvýznamné.

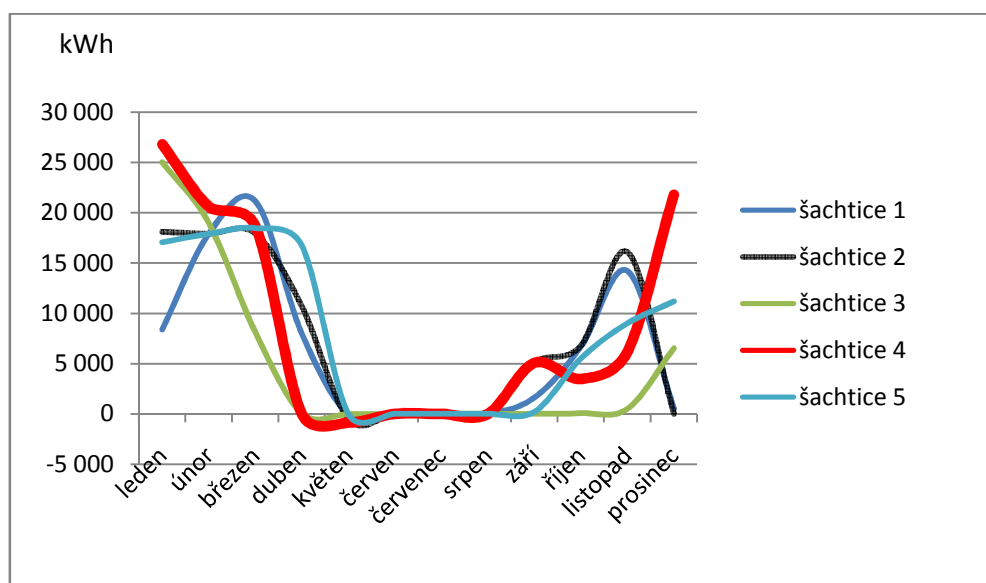
Z údajů na elektroměru je možno odečíst celkovou spotřebovanou energii na provoz tepelných čerpadel. Se započtením elektrické energie na pohon oběhových čerpadel byla celková hodnota za rok 138,3 MWh. Topný faktor čerpadel (COP) pak vychází na 3,17.

Dále je možno odhadnout, jaká množství energie byla odčerpána (dodána) z (do) jednotlivých horninových bloků. Každá skupina 22 vrtů má svoje oběhové čerpadlo. Při zjednodušeném předpokladu, že vrty jsou za provozu zatěžovány stejně a mají stejný tepelný odpor, je možné z doby provozu jednotlivých oběhových čerpadel usuzovat na množství energie odebrané (dodané) jednotlivým horninovým blokům.

*Tab. 30 Rozdělení energie na jednotlivé horninové bloky [data kotelna]*

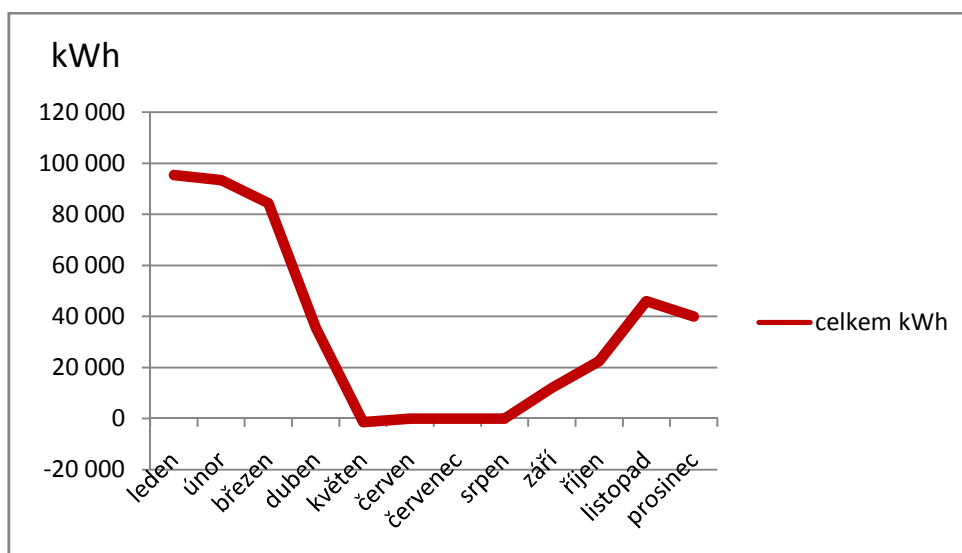
	šachtice 1	šachtice 2	šachtice 3	šachtice 4	šachtice 5	celkem
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
leden	8 395	18 091	25 032	26 795	17 055	95 369
únor	17 902	17 922	18 983	20 605	17 902	93 313
březen	21 162	17 948	8 125	18 666	18 467	84 368
duben	8 012	10 711	67	0	16 741	35 531
květen	-37	-472	-33	-864	-11	-1 417
červen	0	0	0	0	0	0
červenec	0	0	0	0	0	0
srpen	0	0	0	0	0	0
září	1 632	5 108	0	5 072	189	12 001
říjen	6 692	6 801	73	3 485	5 506	22 557
listopad	14 221	16 079	498	6 156	8 994	45 948
prosinec	522	0	6 528	21 777	11 176	40 003
<b>2008</b>	<b>78 502</b>	<b>92 187</b>	<b>59 272</b>	<b>101 693</b>	<b>96 019</b>	<b>427 673</b>

*Graf 14 Dodávky tepelné energie podle jednotlivých horninových bloků [data kotelna]*



Z uvedeného přehledu je zřejmé, že jednotlivé horninové bloky nejsou zatěžovány odběrem tepla rovnoměrně. Horninový blok reprezentovaný šachticí č. 4, který nás zajímá z hlediska provozu velkého polygonu, byl zatěžován v roce 2008 nejvíce.

*Graf 15 Čerpání tepelné energie v roce 2008 celkem [data kotelna]*



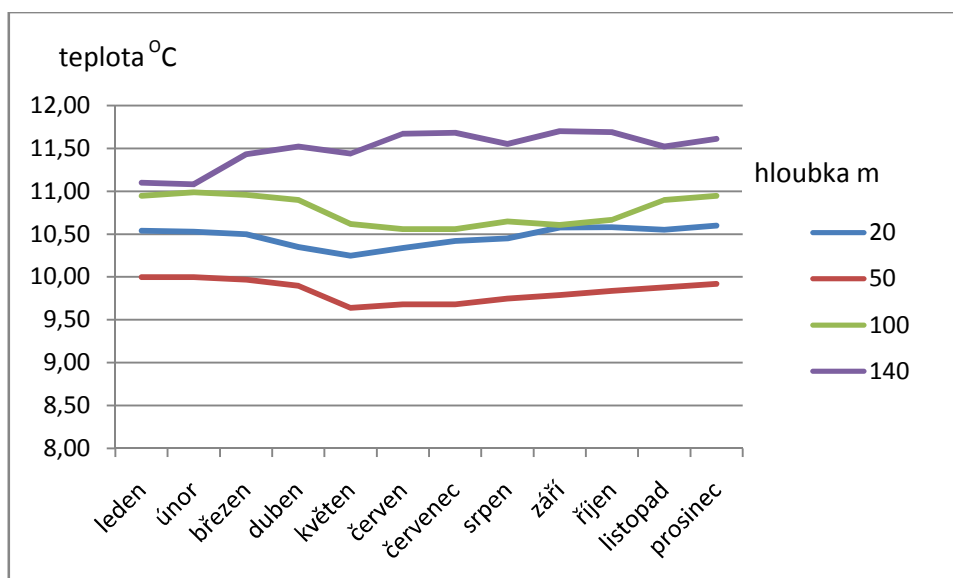
Dále je možno sledovat průběh teplot ve sledovaných hloubkách na měřicích vrtech velkého výzkumného polygonu v čase. Jak bylo uvedeno výše, napojení teplotních čidel bylo nekvalitní a data nejsou správná a kompletní. Pro zpracování orientačního vývoje



teplot byl pro každou hloubku vypočten průměr z dostupných hodnot, anomální hodnoty byly vyloučeny a chybějící hodnoty odhadnuty.

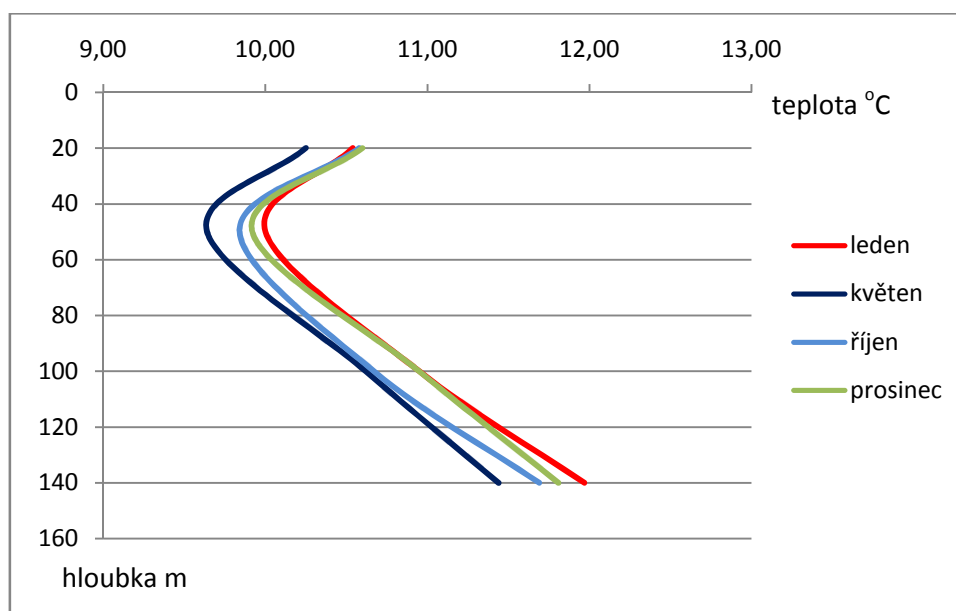
*Graf 16 Orientační průběh teplot v oblasti vrtů MV v roce 2008*

*[data kotelná, upraveno autor]*



*Graf 17 Orientační teplotní profily v oblasti vrtů MV v roce 2008*

*[data kotelná, upraveno autor]*



Grafické vyjádření teplotních profilů je pro přehlednost znázorněno pouze pro čtyři měsíce v roce. Profily zbylých osmi měsíců se pohybují mezi profilem lednovým a květnovým.

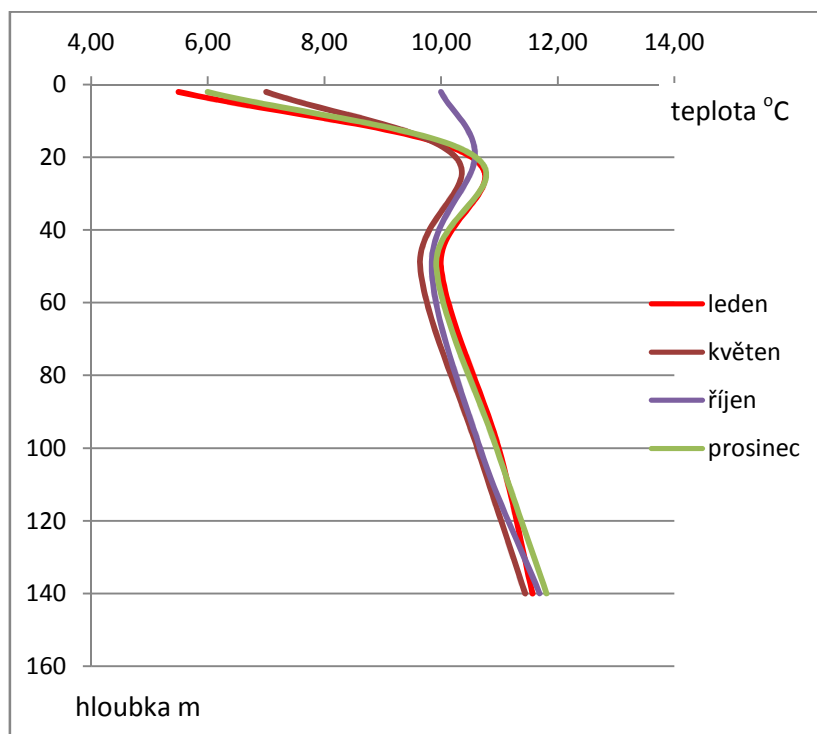
Z grafu lze vyvodit orientační závěry:

- roční průběh teplot (graf 16) v hloubkových úrovních 20, 50 a 100 metrů je podobný,
- roční průběh teplot v hloubkové úrovni 140 m (graf 16) je rozdílný, důvodem může být vyšší koeficientu tepelné vodivosti karbonských hornin, které jsou podle údajů z vrtání od hloubky 80 m,
- teploty rostou rovnoměrně od hloubky cca 50 m, geotermický stupeň lze odhadnout na hodnotu  $40 \text{ m/1 } ^\circ\text{C}$  (graf 17),
- polohu neutrální zóny lze odvodit v hloubce cca 50 m (graf 17),
- při čerpání tepla je horninový masív od neutrální zóny směrem dolů zatěžován rovnoměrně v celém hloubkovém profilu (graf 17),
- nejnižší úroveň teplot v celém profilu byla v květnu, což může být důsledkem setrvačnosti a čerpání tepla ze sousedního bloku č. 5 v dubnu (graf 17),
- největší rozdíl je mezi lednovým a květnovým profilem a činí přibližně  $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ , rozdíl je v celém profilu přibližně stejný (graf 17),
- prosincový profil se pod neutrální zónou blíží profilu lednovému, což může znamenat uspokojivou schopnost tepelné regenerace horninového masívu vlivem vnitřního zdroje tepla (graf 17),
- regenerace nad neutrální zónou je pravděpodobně rychlejší díky vnějším zdrojům tepla (graf 17).

### **Modelový příklad**

Nevýhodou velkého výzkumného polygonu je, že nelze měřit teploty v menších krocích těsně pod povrchem do hloubky cca 50 m. Tyto hodnoty jsou důležité, protože detailně ukazují reakci prvních metrů profilu horninového masívu na vnější zdroje energie v čase. Aby bylo zřejmé, nakolik je pro další výzkum podstatné toto měření doplnit, je možno pokusně namodelovat teploty např. v hloubce 2 m a pro vybrané teplotní profily je doplnit do grafu. Z literatury [40] lze odhadnout rozptyl teplot v hloubce 2 m během roku. Pokud připustíme, že pro dané podmínky bude rozdíl 5 stupňů Celsia [41] mezi lednem a prosincem, bude model vypadat následovně:

*Graf 18 Model teplotního profilu v oblasti vrtů MV v roce 2008  
[data kotelna, data pro hloubku 2 m autor určil na základě [41]]*



Smyslem toho modelu je ukázat, jak může vypadat interakce mezi vnitřními a vnějšími zdroji energie. Z modelu lze odvodit, že do 20 m hloubky je velmi významný vliv vnějších zdrojů, od 20 m do cca 50 m je přechodová zóna, kde se střetávají vlivy vnějších a vnitřních zdrojů. Od hloubky 50 m by podle modelu měly energii dodávat pouze vnitřní zdroje energie.

### **Základní zkušenosti z výstavby a provozu velkého výzkumného polygonu**

Při instalaci nelze podceňovat technické řešení, přípravu a realizaci instalace teplotních čidel. Nekvalitní čidla (viz první pokus na vrtech TRT) a nekvalitní napojení (viz velký výzkumný polygon) znamenají nefunkčnost systému měření, a tím i ztrátu důležitých dat.

Diskutabilní je současná četnost měření teplot co dvě minuty. Velké soubory dat působí potíže při zpracování, za předpokladu doby měření minimálně 10 let je množství dat nepraktické. V nastavených dvouminutových intervalech se hodnoty teplot většinou mění až na třetím a dalším desetinném místě. Podle názoru autora stačí přesnost měření na setiny stupně Celsia a na to je dostatečná četnost měření jedenkrát za hodinu.

Pro průběžné vyhodnocování měření je nezbytný účelový počítačový program, vytvořený na základě vhodného databázového produktu. Výsledkem musí být data zpracovaná do formy přehledných tabulek a grafů pro běžné vyhodnocování. Dále je důležité vytvořit datové soubory pro počítačové modelování, které nebudou zatíženy chybami a nepřesnostmi měření.

The diagram illustrates a complex thermal pump system. At the top, a row of ten pumps (TC1 to TC10) is connected to a central manifold. Below this, a network of pipes leads to various rooms, each with its own temperature and pressure readings. For example, Room 1 (K1) has a temperature of 8.5°C and a pressure of 2.4 bar. Room 2 (K2) has a temperature of 13.7°C and a pressure of 2.4 bar. Room 3 (K3) has a temperature of 16.1°C and a pressure of 2.4 bar. Room 4 (K4) has a temperature of 16.9°C and a pressure of 2.4 bar. Room 5 (K5) has a temperature of 16.7°C and a pressure of 2.4 bar. Room 6 (K6) has a temperature of 4.8°C and a pressure of 2.4 bar. Room 7 (K7) has a temperature of 8.6°C and a pressure of 2.4 bar. Room 8 (K8) has a temperature of 4.1°C and a pressure of 2.4 bar. Room 9 (K9) has a temperature of 37.8°C and a pressure of 3.7 bar. Room 10 (K10) has a temperature of 48.4°C and a pressure of 3.7 bar. The central unit also displays a digital readout of 23.3 and a digital display showing 'Dávka elektronická (V/MHz) 11 513,801' and 'Výkon (kW) 3.000'. The system is labeled 'Výstřední VYT + FOT + OT' and 'Příslušenství k jednotce E. 1-8'.

## Dílčí závěr

Přes uvedené dílčí problémy je velký polygon funkční. Je možno vytvářet výstupy z měření a dávat je do kontextu s ostatními daty (např. z provozu kotelny), jak bylo ukázáno výše. Podle názoru autora bude vhodné doplnit celý systém jedním vrtem blízko skupiny měřicích vrtů, který bude do hloubky min. 50 m zaznamenávat teploty ve dvoumetrových hloubkových intervalech. Po dokončení oprav napojení čidel a vytvoření počítačového programu na vyhodnocování dat bude velký výzkumný polygon v celém rozsahu plnit cíle a záměry, se kterými byl vybudován.

## **10. Komplexní metodika**

### **10.1. Rozhodující hlediska**

V předcházejících kapitolách práce byla popsána a analyzována jednotlivá hlediska, která jsou při posuzování horninového masivu jako zdroje tepla rozhodující. Jejich přehledný souhrn seřazený do časové posloupnosti vazeb je základem pro návrh komplexní metodiky posouzení.

#### **Projekt vytápění**

Základní požadavky na zdroj tepla vychází z projektu vytápění objektu. Projekt definuje potřebný výkon pro vytápění a také průběh potřeb topení během roku. Projekt rovněž stanovuje případné požadavky na ukládání tepla nebo přímo využití horninového prostředí jako zásobníku energie.

#### **Posouzení zdrojů tepla**

Na základě dostupných údajů je nutno odhadnout převažující zdroj tepla (vnější x vnitřní). Musí se vyhodnotit horninový masiv z hlediska geografické polohy, klimatu, geologie, hydrogeologie. Výsledkem je odborný odhad fyzikálních vlastností horninového prostředí a posouzení případných rizik pro dimenzování kolektoru. Pokud bude horninový masiv využit jako zásobník tepla, je nutno doplnit soubor údajů o další fyzikální horninové parametry.

#### **Dimenzování vrtů**

U malých instalací a v případech, kdy je prostředí dostatečně známo, není nutno realizovat TRT. V principu platí, že tam, kde jsou náklady na TRT menší než náklady na metráž vrtů pokrývající riziko chyby odborného odhadu, má smysl TRT uskutečnit. Cena TRT se pohybuje na úrovni cca 250 tis. Kč a zahrnuje zkušební vrt, měření a vyhodnocení. V praxi se podle názoru autora jedná o instalace s celkovou metráží větší než 2500 m. Chyba v odborném odhadu fyzikálních parametrů kolektoru na úrovni 10% představuje riziko ve výši 250 m vrtů, tj. přibližně 250 tis. Kč. Zjednodušeně je možno definovat

pravidlo, že instalace do 50 kW výkonu nevyžadují měření TRT, od 50 do 100 kW výkonu je nutno situaci individuálně posoudit a od 100 kW výkonu výše by měl být TRT povinný.

### **Právní podmínky**

Na základě provedené analýzy je podle názoru autora vyhovující posuzovat vrt jako stavbu s tím, že projekt vrtu musí povinně obsahovat hydrogeologický posudek, zpracovaný osobou s patřičným osvědčením o odborné způsobilosti. Musí být vyřešeny střety zájmů a rizika.

### **Technické podmínky**

Technické provedení musí splňovat požadavky na eliminaci provozních, ekologických a bezpečnostních rizik. Technologie vrtání musí být schválena, musí existovat systém kontroly kvality.

### **Kalkulace projektu**

Samotná kalkulace musí věrohodně zobrazovat veškeré náklady s realizací spojené. Pro velké projekty lze očekávat několik modelů a variant výpočtu s různými vstupy. Platí zásadní pravidlo, že vstupní data musí být realistická a pravdivá. Zde je nutno podotknout, že náklad na realizaci vrtaných kolektorů je významnou částí celkových nákladů na topný systém. U menších standardních projektů tvoří přibližně jednu třetinu celkových nákladů. U velkých nestandardních projektů může být podíl odlišný.

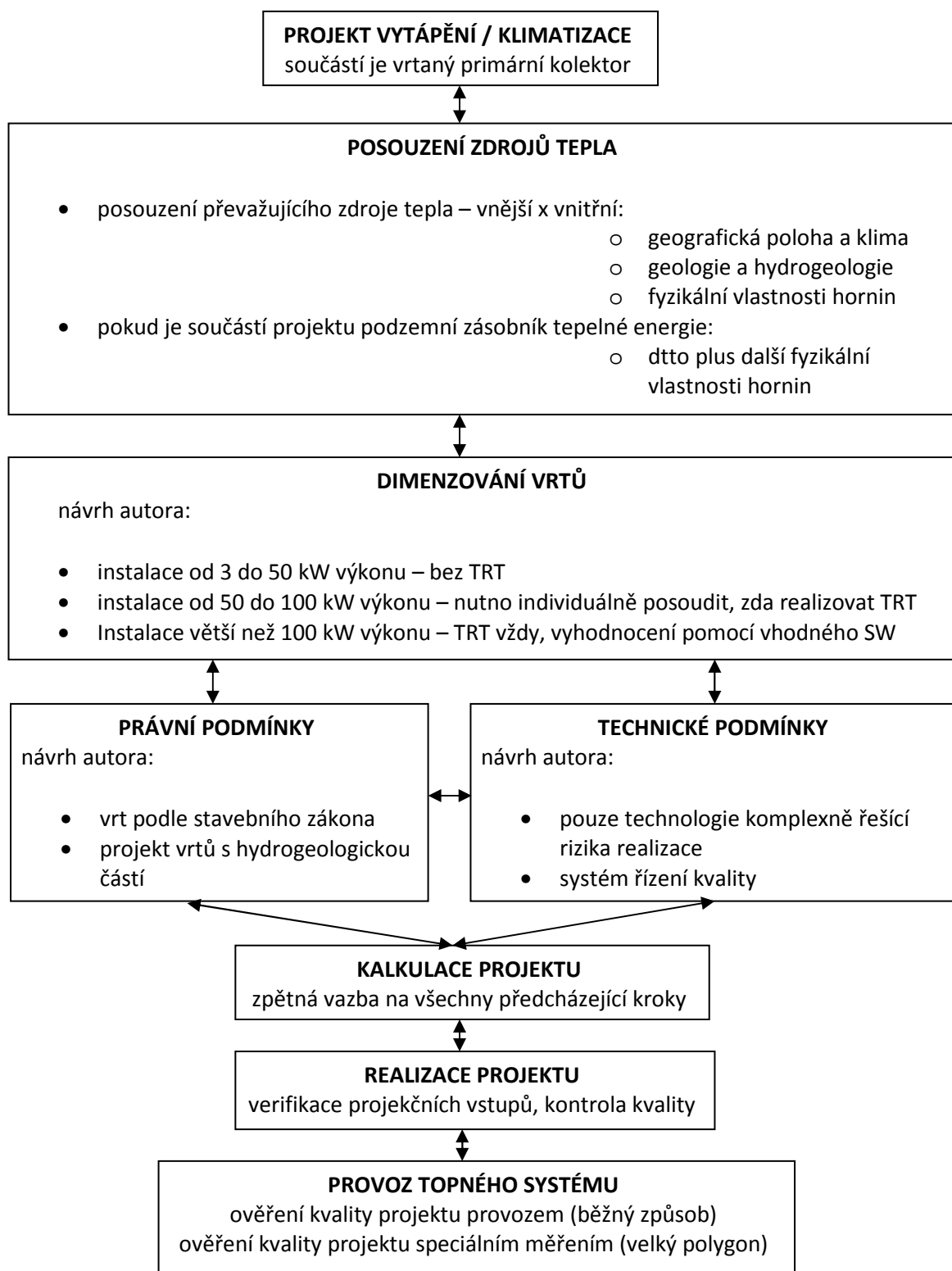
### **Realizace projektu**

Realizace prokáže správnost vstupních projekčních předpokladů. Pokud byla předprojektové a projektové přípravě věnována náležitá péče, bude realizace probíhat podle stanoveného rozpočtu a harmonogramu.

### **Provoz topného systému**

Při provozu otopného systému se definitivně prokáže správnost projekčních vstupů a kvalita realizace. Data z provozu kotelny za delší časové období potvrdí kvalitu provedení. Ve zvláštních případech, kdy je instalován speciální měřicí systém (např. velký výzkumný polygon na Aule+CIT), je možno data verifikovat druhým nezávislým měřením.

## 10.2. Přehled komplexní metodiky



## 11. Závěr

Horninové prostředí je stále častějším zdrojem obnovitelné nízkopotenciální tepelné energie. S rozvojem počtu praktických instalací vznikla potřeba vyhodnocení těchto parametrů, které jsou pro využití tohoto zdroje podstatné. Komplexní pohled na horninové prostředí jako na zdroj nízkopotenciálního tepla má význam z pohledu vědeckého, protože poskytuje přehlednou teoretickou základnu pro další studium a řešení navazujících teoretických úloh. Z praktického hlediska je komplexnost posouzení nezbytná pro bezchybné projektování, realizaci a provoz otopných systémů, využívajících horninového masívu svrchní části zemské kůry jako prostředí, ze kterého je čerpána nebo do kterého je ukládána tepelná energie.

Hlavním cílem mé disertační práce byla analýza jednotlivých kritérií, která jsou pro posouzení horninového masívu rozhodující, a analýza vazeb mezi nimi. Tato část byla předmětem teoretických kapitol. V praktické části práce byl komplexní přístup demonstrován na příkladu největší instalace primárního kolektoru v České republice, na stavbě topného systému Auly + CIT VŠB - TU Ostrava.

Ve své práci jsem se zabýval teoretickými základy o původu zemského nízkopotenciálního tepla. Existující názory a hypotézy jsem shrnul do závěru, ze kterého vyplývá, že v konkrétní lokalitě je nejdůležitější posouzení převažujícího zdroje tepla, geografické polohy a tepelných vlastností hornin.

Součástí práce je přehled o technických prostředcích a technologických postupech, které jsou pro využití energie zemské kůry nezbytné. Práce poskytuje základní informaci o tepelných čerpadlech a detailní informaci o vrtech jako primárních kolektorech zemského tepla. V této části jsem využil svých dlouholetých praktických zkušeností z velkého počtu realizovaných instalací a formuloval obecné zásady kvalitního a bezpečného provádění vrtů.

V předkládané práci jsem se dále zabýval dimenzováním vrtů pro tepelná čerpadla. V této kapitole jsou analyzovány teoretické i praktické vstupy a popsán test teplotní odezvy jako nejvhodnější a prakticky ověřený způsob měření koeficientu tepelné vodivosti. Využívání zemské kůry jako zásobníku energie je účinný způsob, jak uchovávat teplo v době jeho přebytku a naopak čerpat v období jeho nedostatku. V práci jsem uvedl přehled jednotlivých metod uskladňování tepla včetně příkladu praktické instalace.



Zákonné podmínky provádění vrtů pro tepelná čerpadla jsou dalším úhlem pohledu na danou problematiku. Na základě praktických zkušeností jsou demonstrovány možné přístupy a modely řešení, součástí této části práce je návrh optimálního právního režimu, který zajistí splnění zákonných norem a zároveň i bezproblémovou a kvalitní realizaci.

V době mého doktorandského studia vznikla jedinečná příležitost, jak ověřit komplexní přístup hodnocení horninového masivu jako zdroje tepla v praxi, a to při výstavbě největší instalace tepelných čerpadel v České republice, v lokalitě Aula+CIT VŠB - TU Ostrava. Příprava a realizace primárního kolektoru projektu byla podrobně analyzována v praktické části práce.

V rámci analýzy jsem také vyhodnotil data z měření teplot za období roku 2008, získaná z tzv. velkého výzkumného polygonu. Data jsem dal do kontextu údajů získaných při provozu kotelny, formuloval jsem souvislosti mezi oběma skupinami a definoval závěry, které bylo možno ze získaných hodnot vyvodit. Z provozu systému a získaných dat jsem formuloval doporučení, která by bylo vhodné využít pro další činnost velkého výzkumného polygonu. S cílem podrobněji ověřit průběh teplot v horninovém masivu do hloubky neutrální zóny (50 m) jsem navrhnul doplnit velký výzkumný polygon o jeden vrt, který by zajistil měření teplot v hloubkových intervalech každé dva metry. Dále jsem doporučil změnit četnost měření teplot z časového intervalu dvě minuty na interval hodinový, který se mi jeví z hlediska zjištěných časových průběhů změn teplot jako dostatečný. Pro operativní zpracování naměřených dat jsem doporučil vytvoření vhodného počítačového programu, který umožní jejich rychlejší vyhodnocování. Na základě zkušeností s životností teplotních čidel umístěných v horninovém prostředí jsem doporučil měření teplot ve vrtech pomocí optického kabelu jako vhodnou alternativu.

Teoretické i praktické poznatky jsem rekapituloval v závěrečné kapitole, kde je přehledně uvedena komplexní metodika posouzení horninového masivu jako zdroje nízkopotenciálního tepla. Metodika obsahuje vlastní závěry, formulované v jednotlivých kapitolách disertační práce.

Jak bylo v mé práci doloženo, problematika komplexního posouzení hornin jako zdroje tepla má několik rovin. Některé z nich jsou dány přírodními podmínkami, některé mají technický charakter, podstatný je pohled ekonomický, právní a ekologický. Z hlediska výzkumu přírodních horninových vlastností je velmi silným nástrojem měřicí systém, který je vybudován na VŠB - TU Ostrava. První získané výsledky ukazují, že zpracování a vyhodnocování naměřených dat bude mít pro budoucí výzkum v oblasti sledování a modelování teplotního pole v horninovém prostředí velký význam.

## 12. Seznam použité literatury

[1] **Anderson, D.L.:** Energetics of the Earth and the Missing Heat Source Mystery. Seismological Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, July 2005.

Dostupné z WWW: <http://www.mantleplumes.org/Energetics.html>.

[2] **Bajer, M., Suchan, L.:** Fyzikální základy hornické techniky. SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha 1982.

[3] **Bufka, A.:** Tepelná čerpadla v roce 2007. Výsledky statistického zjišťování, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, oddělení surovinové a energetické statistiky, Praha, srpen 2008.

[4] **Bujok, P.:** Posouzení geologických poměrů a tepelné vydatnosti vrtů na lokalitě Ostrava – Poruba, areál VŠB-TU Ostrava, stavba auly a CIT. Odborný posudek, říjen 2004.

[5] **Code of Ethical Practice:** The Ground Source Heat Pump Association, Appendix II, May 2008. Dostupné z WWW: <http://www.gshp.org.uk/>.

[6] **Council of the European Union:** Brussels European Council 8/9 March 2007, Presidency Conclusion. Cover Note, Brussels, May 2007.

[7] **Čížek, P.:** Technické normy pro provádění vrtů tepelných čerpadel. Zpravodaj UGA, 5/2008, květen 2008.

[8] **Gehlin, S.:** Thermal Resonse Test, Method Development and Evaluation. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Department of Environmental Engineering, Division of Water Resources Engineering, 2002.

[9] **Grmela, A., Aldorf, J.:** Projekt vodního díla pro územní rozhodnutí a stavební povolení, Návrh na povolení k jinému nakládání s podzemními vodami, Ostrava AULA + CIT vrty pro tepelná čerpadla na parc. Č. 1738/30 a 1738/37 k.ú. Poruba. VŠB – Technická universita, zpracováno pro OKD, DPB, a.s., březen 2005.

[10] **Gütesigel für Erdwärmesonden – Bohrfirmen:** Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS, Reglement, Version 25. Oktober 2007 © FWS. Dostupné z WWW: [http://www.fws.ch/dateien/Reglement\\_Guetesiegel\\_EWS.pdf](http://www.fws.ch/dateien/Reglement_Guetesiegel_EWS.pdf).

[11] **Hellström, G.:** Thermal Response Tests. NATO Advanced Study Institute on Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption, Fundamentals Case Studies Designe Cesme Izmir, Turkey, June 6-17, 2005.

[12] **Hellström, G.:** Thermal Response Test, Borehole No.1, Mining University Ostrava, Report No. 050405-050408, červen 2005.

[13] **Hellström, G.:** Thermal Response Test, Borehole No.2, Mining University Ostrava, Report No. 050405-050412, červen 2005.

[14] **Hellström, G., Sanner, B.:** Earth Energy Designer Version 2, User Manual, October 2000.

[15] **Hendriks, M., Snijders, A., Boid, N.:** Underground Thermal Energy Storage for Efficient Heating and Cooling Buildings. IFTech Ltd, UK. Dostupné na WWW: <http://www.ifttech.co.uk/>.

[16] **Homola, J.:** Seznam dokumentace k předání kabeláží s teplotními čidly. OKD, DPB, a.s., provozní dokumentace, září 2006.

[17] **Kawulok, F.:** Řízená projektová dokumentace, Stavba VŠB – Technická universita Ostrava Aula + CIT, Zdroj tepla – tepelná čerpadla. Projekt pro provedení stavby, Technická zpráva, červenec 2006.

[18] **Kokta, J., Rubín, J.:** Zeměpisný lexikon ČSR – Hory a nížiny. ČAV, Praha 1987.

[19] **Křupka, J., Belica, P.:** Energetický audit, Aula a Centrum Informačních technologií, VŠB – TU Ostrava, říjen 2004.

[20] **Kučírek, L., Škola, B., Janků, M.:** Projekt vrtů č. ÚPV-065-05-06-2006, Paskov, květen 2006.

[21] **Kunz, A.:** Vrtý pro tepelná čerpadla a související právní předpisy. Závěrečná práce, Inovační a rekvalifikační studium „Průzkum, těžba a uskladňování kapalin a plynů“, VŠB - TU Ostrava, Fakulta hornicko-geologická, duben 2004.

[22] **Kunz, A., Ryška, J., Koníček, J., Bujok, P.:** Využití horninového prostředí jako stálého efektivního zdroje energie pro tepelná čerpadla. Sborník přednášek „Nové poznatky v oblasti vrtání, těžby, dopravy a uskladňování uhlíkovodíků. Podbánské 2002, ISBN 80-7099-895-4.

[23] **Kunz, A., Ryška, J., Koníček, J., Bujok, P., Mazáč, J.:** Speciální technika pro realizaci vrtů umožňujících využití nízkopotenciálních zdrojů tepla. Sborník referátů 7. r. mezinárodní konference „Geotechnika 2002“, Štrbské Pleso, ISBN 80-248-0115-9

[24] **Kurka, J.:** Využití tepelných čerpadel na VŠB-TUO. Akademik, časopis VŠB Technické univerzity Ostrava, ročník X, číslo 6/2006. Dostupné z WWW: <http://ic.vsb.cz/informator/6-06/INFORM-606.PDF>

[25] **Malucha, P.:** Hydrogeologické posouzení výsledků chemické analýzy vzorku vody č. 2166, protokol o zkoušce č. P 472/05, Paskov, březen 2005.

[26] **Mareš, M., et al.:** Územní energetická koncepce Moravskoslezského kraje. Moravskoslezský kraj, Praha, listopad 2003.

[27] **Mareš, S.:** Úvod do užití geofyziky. Nakladatelství technické literatury, Praha 1990.

[28] **Ministerstvo zemědělství, Výkladová komise pro zákon č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) a související předpisy v působnosti Ministerstva zemědělství:** Výklad problematiky, zda vrtý zasahující do podzemních vod

slouží pro využívání jejich energetického potenciálu pomocí vytlačovaných přenosných médií jsou podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, vodními díly k jinému nakládání s podzemními vodami, č.j. 18996/2002-6020, Praha 2002.

[29] **Nielsen, K.:** Thermal Energy Storage A State-of-the-Art. A report within the research program Smart Energy-Efficient Buildings at NTNU and SINTEF 2002 – 2006. Department of Geology and Mineral Resources Engineering NTNU, Trondheim, January 2003.

[30] **Odbor stavebního řádu MMR:** Provádění hlubinných vrtů za účelem získávání zemského tepla. Stanovisko odboru stavebního řádu MMR ze dne 15.1.2002 č.j. K – 545/00, Praha 2002.

[31] **Paturi, F.R., et al.:** Kronika Země. Fortuna Print, Praha 2003. 31

[32] **Poppei, J. et al.:** Innovative Improvements of Thermal Response Test. Project Nr. 101690 Commissioned by Swiss Federal Office of Energy (BFE), Intermediate Report, August 2006.

[33] **Quitt, E.:** Klimatické oblasti Československa. Studia Geographica, Brno 1971.

[34] **Rohner, E., Rybach, S., Scharli, U.:** A New, Small Wireless Instrument to Determine Ground Thermal Conductivity In-Situ for Borehole Heat Exchanger Design. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, April 2005.

[35] **Rybach L., Sanner B.:** Ground – Source Heat Pump Systems: The European Experience. GHC Bulletin, 2000.

[36] **Ryška, J.:** Problematika dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla. Závěrečná práce PGS, VŠB-TU Ostrava, 2003-2004.

[37] **Ryška, J.:** Využití a funkce tepelného čerpadla. Vrtý do horninového masivu – zdroj energie pro tepelná čerpadla (II), časopis Alternativní energie č.5/2005. Dostupné z WWW: <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3634>.

[38] **Ryška, J., Škola, B., Koníček, J.:** Projekt vrtů pro tepelné čerpadlo v rozsahu Vyhlášky ČBÚ č. 239/1998 Sb. Číslo projektu DPV-047-02-03-2005, březen 2005.

[39] **Ryška, J., Kunz, A.:** Praktické zkušenosti OKD, DPB, a.s. s projektováním a realizací vrtů pro tepelná čerpadla. Netradiční metody využití ložisek, Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava číslo 1, rok 2005, řada hornicko – geologická, Monografie 15, Ostrava, ISBN 80-0920-6.

[40] **Sanner, B.:** Overview of geothermal energy use and development in Europe (power, heat and cold). Congreso de Energia Geotermica en la Edificacion y la Industria, Madrid, A5 y 16 de octubre de 2008.

Dostupné z WWW: <http://www.fenercom.com/pdf/informacion/geoner2008/burkhard-sanner-Overview-of-geothermal-energy-use-and-development-in-europe-geoener-2008.pdf>.

[41] **Sanner, B. et al.:** Technology, development status and routine applications of the Thermal Response Test. Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, May – June 2007.

[42] **Sanner, B., et al.:** GROUNDHIT – advancement in ground source heat pumps through EU support. Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, May – June 2007.

[43] **Sanner, B., Karytsas, C., Mendrinos, D., Rybach, L.:** Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe. Geothermics, Volume 32, Issue 4-6, 1 August 2003.

[44] **Studnicki, B.:** VŠB – Technická univerzita Ostrava Aula + CIT, část stavby Rozšíření MaR pro výzkum zdroje tepla - vrtý pro tepelná čerpadla. Technická zpráva, červen 2006.

[45] Šponar, P., Vícha, O.: Zákon o geologických pracích a jeho prováděcí předpisy s komentářem. ABF, s.r.o., Praha 2005, ISBN 80-86165-97-3.

[46] **Úplné znění zákona č.44/1988 Sb.** o ochraně a využití nerostného bohatství, **Úplné znění zákona č.61/1988 Sb.** o hornické činnosti, výbušninách a státní báňské správě. Montanex a.s., Báňské předpisy I, třetí novelizované vydání, Ostrava 2008.

[47] **VDI- Handbuch Energietechnik:** VDI 4640 Thermal use of underground. Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, © Verein Deutscher Ingenieure, December 2000.

[48] **Vyhláška ČBÚ č.104/1988 Sb.** o hospodárném využívání výhradních ložisek, o povolování a ohlašování hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem. Montanex a.s., Báňské předpisy II, Ostrava 2001.

[49] **Vyhláška ČBÚ č. 298/2005 Sb.** o požadavcích na odbornou kvalifikaci a odbornou způsobilost při hornické činnosti nebo činnosti prováděné hornickým způsobem a o změně některých právních předpisů, ve znění vyhlášky č. 240/2006 Sb. Montanex a.s., Báňské předpisy XXI, Ostrava 2007.

[50] **Vyhláška č. 239/1998 Sb.** o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při těžbě a úpravě ropy a zemního plynu a při vrtných a geofyzikálních pracích. Montanex a.s., Báňské předpisy XVI, Ostrava 1999.

[51] **Vyhláška MŽP č. 206/2001 Sb.** o osvědčení odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce, ze dne 4. června 2001. Dostupné z WWW: [http://www.mzp.cz/\\_c1256e7000424ac6.nsf/Categories?OpenView&Start=1&Count=30&Expand=7.1#7.1](http://www.mzp.cz/_c1256e7000424ac6.nsf/Categories?OpenView&Start=1&Count=30&Expand=7.1#7.1).

[52] **Zákon č. 183/2006 Sb.:** o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon). Dostupné na WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/>.

[53] **Zákon č. 254/2001 Sb.:** o vodách (Vodní zákon). Dostupné na WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/>.

## Elektronické zdroje

[54] **Amasond** [online]. c2009, last revision 20.6.2009 [cit. 2009-06-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.amasond.com/home/de/default.aspx>>.

[55] **ASB** [online]. c2009, aktualizace 3.7.2009 [cit. 2009-07-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.asb.sk/tzb/koncernova-centrala-strabag-slovensko-3152.html>>.

[56] **Asociace pro využití tepelných čerpadel** [online]. c2008-2009 , poslední revize 11.8.2009 [cit. 2009-08-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.avtc.cz/>>.

[57] **Australian Government Bureau of Meteorology** [online]. c2009, last revision 31.7.2009 [cit. 2009-08-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.bom.gov.au/info/climate/change/gallery/index.shtml>>.

[58] **Drake Landing Solar Community** [online]. 2005, last revision 17.3.2008 [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.dlsc.ca/index.htm>>.

[59] **EkoWatt** [online]. c2008, aktualizace 5.5.2009 [cit. 2009-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-prostredi-geotermalni-energie-tepelná-čerpadla>>.

[60] **GEROtop** [online]. 2006, poslední revize 3.3.2009 [cit. 2009-03-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.gerotop.cz/produkty/content/vystrojeni-vrtu/>>.

[61] **HART-PIPE** [online]. c2009, aktualizace 13.4.2009 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <[http://www.hart-pipe.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=23&Itemid=28](http://www.hart-pipe.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=23&Itemid=28)>.

[62] **Hestia 5.0 VIVID - Encyklopedie 2008** [online]. c2005, poslední revize 2008 [cit. 2009-02-05]. Dostupný z WWW: <<http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/>>.

[63] **IVT tepelná čerpadla** [online]. 2003-2009, aktualizace 30.6.2009 [cit. 2009-07-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/priklad-instalace-v-rodinnem-dome-s-tepelnou-ztratou-6-kw>>.



[64] **MVB** [online]. c2000-2009 [cit. 2009-04-27]. Dostupný z WWW:

<<http://www.mvb.cz/produkty/domacnosti/tepelna-čerpadla/>>.

[65] **Tzbinfo** [online]. 2001-2009, aktualizace 25.7.2009 [cit. 2009-07-26]. Dostupný z

WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=269>>.

[66] **Wikipedia** [online]. 2009, last revision 10.7.2009 [cit. 2009-07-11]. Dostupný z

WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_energy\\_storage](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_energy_storage)>.

[67] **Wikipedie** [online]. 2009, poslední revize 6.6.2009 [cit. 2009-06-10]. Dostupný z

WWW:

<[http://cs.wikipedia.org/w/index.php?%20title=Slune%C4%8Dn%C3%AD\\_energie&oldid=4055339](http://cs.wikipedia.org/w/index.php?%20title=Slune%C4%8Dn%C3%AD_energie&oldid=4055339)>.

[68] **Zelená úsporám** [online]. 2009, aktualizace 10.8.2009 [cit. 2009-08-12]. Dostupný z

WWW: <<http://www.zelenausporam.cz/sekce/489/vyse-podpory/>>.

### 13. Seznam obrázků

Obr. 1 Mapa hustot tepelného toku na území bývalého Československa [27]

Obr. 2 Celkové množství sluneční energie dopadající na území ČR za rok [62]

Obr. 3 Celková energetická rovnováha Země [57]

Obr. 4 Idealizovaný Carnotův cyklus [37]

Obr. 5 Princip tepelného čerpadla [37]

Obr. 6 Příklad bivalentního chodu tepelného čerpadla [59]

Obr. 7 Schéma systému tepelného čerpadla vzduch - voda [64]

Obr. 8 Schéma systému tepelného čerpadla voda - voda [64]

Obr. 9 Schéma systému tepelného čerpadla země - voda [64]

Obr. 10 Patice Gerodur[60]

Obr. 11 Patice Geser 4 x 32 [foto autor]

Obr. 12 Koaxiální modul pro výstroj primárního kolektoru firmy AMASOND [54]

Obr. 13 Dvojitá vrtná hlava spolu s těsnicí hlavou - vrtná souprava Nordmeyer DSB 2/10  
[foto autor])

Obr. 14 Realizace vrtných prací vrtnou soupravou Nordmeyer DSB 2/10 [foto autor]

Obr. 15 Celkový pohled na vrtné pracoviště – zapouštění HDPE kolektoru do vrtu [foto  
autor]

Obr. 16 Teplotní pole v neovlivněném (vlevo) a ovlivněném (vpravo) masívu [35]

Obr. 17 Průběh rozložení teplotního pole v okolí vrtu pro tepelné čerpadlo [35]

Obr. 18 Zařízení pro TRT [8]

Obr. 19 Ukázka TRT aparatury při měření na lokalitě Aula+CIT VŠB – TUO [foto autor]

Obr. 20 Příklad záznamu z měření [11]

Obr. 21 Základní principy podzemního uskladňování tepelné energie [29]

Obr. 22 Základní funkce akviférových zásobníků tepelné energie [29]

Obr. 23 Otevřený (A) a uzavřený (B) systém výstroje vrtů pro zásobníky energie [29]

Obr. 24 Různé konfigurace vrtů pro podzemní zásobníky energie [29]

Obr. 25 Kavernový zásobník energie Lyckebo ve Švédsku [29]

Obr. 26 Schéma vytápění Drake Landing Community Centre [58]

Obr. 27 Půdorys vrtaného podzemního zásobníku Drake Landing Community Centre [58]

Obr. 28 Lokalizace zkušebních vrtů č. 1 a 2 [autor]

Obr. 29 Teplotní čidla před zapuštěním do vrtu č.1 [foto autor]

Obr. 30 Příprava injektážní směsi Stüwa Therm na vrtu č.2 [foto autor]

Obr. 31 Schéma rozmístění vrtů a horninových bloků v okolí objektu Aula + CIT [autor]

Obr. 32 Ukázka realizace vrtů pro tepelná čerpadla v lokalitě Aula + CIT [foto autor]

Obr. 33 Napojení vrtů v šachtici č. 4 [foto autor]

Obr. 34 Měřicí teplotní čidlo Pt - 100 [foto autor]

Obr. 35 Situace rozmístění vrtů měřicího polygonu Aula + CIT [16, autor]

Obr. 36 Ukázka nekvalitního napojení teplotních čidel zkorodovaná spojka [foto archiv  
VŠB - TUO]

Obr. 37 Vizualizace provozu tepelných čerpadel Aula+CIT [foto autor]

## **14. Seznam grafů**

Graf 1 Pravděpodobný vývoj počtu instalací tepelných čerpadel v ČR [3, rok 2008-2009  
autor])

Graf 2 Srovnání provozních nákladů na vytápění podle druhu paliva [65]

Graf 3 Měřené hodnoty vstupních a výstupních teplot vrt č. 1 [12]

Graf 4 Topný výkon do teplotnosné kapaliny vrt č. 1 [12]

Graf 5 Hodnoty průtoku teplotnosné kapaliny během testu vrt č. 1 [12]

Graf 6 Měřená a simulovaná teplota teplotnosné kapaliny pro simulované hodnoty  
 $2,17 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a  $0,164 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  vrt č. 1 [12]

Graf 7 Trend modelovaných hodnot tepelné vodivosti na konci testu vrtu č. 1 [12]

Graf 8 Měřené hodnoty vstupních a výstupních teplot vrt č. 2 [13]

Graf 9 Topný výkon do teplotnosné kapaliny vrt č. 2 [13]

Graf 10 Hodnoty průtoku teplotnosné kapaliny během testu vrt č. 2 [13]

Graf 11 Měřená a simulovaná teplota teplotnosné kapaliny pro simulované hodnoty  $2,12 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a  $0,122 \text{ K.W}^{-1}.\text{m}^{-1}$  vrt č. 2 [13]

Graf 12 Trend modelovaných hodnot tepelné vodivosti na konci testu vrtu č. 2 [13]

Graf 13 Průběh teplot v lokalitě v roce 2008 [data kotelna]

Graf 14 Dodávky tepelné energie podle jednotlivých horninových bloků [data kotelna]

Graf 15 Čerpání tepelné energie v roce 2008 celkem [data kotelna]

Graf 16 Orientační průběh teplot v oblasti vrtů MV v roce 2008 [data kotelna, upraveno autor]

Graf 17 Orientační teplotní profily v oblasti vrtů MV v roce 2008 [data kotelna, upraveno autor]

Graf 18 Model teplotního profilu v oblasti vrtů MV v roce 2008 [data kotelna, data pro hloubku 2 m autor určil na základě [41]]

## 15. Seznam tabulek

Tab. 1 Vybrané fyzikální parametry zemského tělesa [31,1]

Tab. 2 Odhady zemského tepelného toku [1]

Tab. 3 Radiogenní teplo [1]

Tab. 4 Ostatní zdroje (maxima) [1]

Tab. 5 Vybrané hodnoty koeficientu měrné tepelné vodivosti [1,2,36]

Tab. 6 Dlouhodobá statistika provozních údajů Green Gas DPB, a.s. [data autor, zaokrouhleno]

Tab. 7 Příklad srovnávací analýzy investičních nákladů [63]

Tab. 8 Příklad srovnávací analýzy provozních nákladů [63]

Tab. 9 Shrnutí fází projektové přípravy [autor]

Tab. 10 Shrnutí fází realizační přípravy [autor]

Tab. 11 Shrnutí fází realizace [autor]

Tab. 12 Přehled základních klimatických charakteristik [33]

- Tab. 13 Klimatické poměry oblasti pobočky ČHMÚ Ostrava-Poruba [9]
- Tab. 14 Hloubka reliéfu karbonu ve vrtech řady NP [4]
- Tab. 15 Ideový geologický profil předmětné lokality [9, 4]
- Tab. 16 Geologický profil vrt č. 1 [autor]
- Tab. 17 Geologický profil vrt č.2 [autor]
- Tab. 18 Injektáž vrtu č. 1 [autor]
- Tab. 19 Injektáž vrtu č. 2 [autor]
- Tab. 20 Základní parametry testu vrt č. 1 [12]
- Tab. 21 Základní parametry testu vrt č. 2 [13]
- Tab. 22 Tepelné vodivosti hornin na lokalitě Aula+CIT [12, 13]
- Tab. 23 Základní vstupní údaje výpočtu [autor]
- Tab. 24 Výsledky počítačového modelování [autor]
- Tab. 25 Porovnání geologických profilů lokalit Opava a Ostrava - Poruba [autor]
- Tab. 26 Přehled základních projektovaných parametrů [autor]
- Tab. 27 Přehled dosažených parametrů vrtání [autor]
- Tab. 28 Přehled metráže zkušebních a měřících polygonů z roku 2006 [autor]
- Tab. 29 Přehled vyrobené a spotřebované energie v roce 2008 [data kotelna]
- Tab. 30 Rozdělení energie na jednotlivé horninové bloky [data kotelna]

## **16. Seznam příloh**

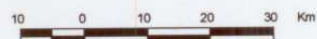
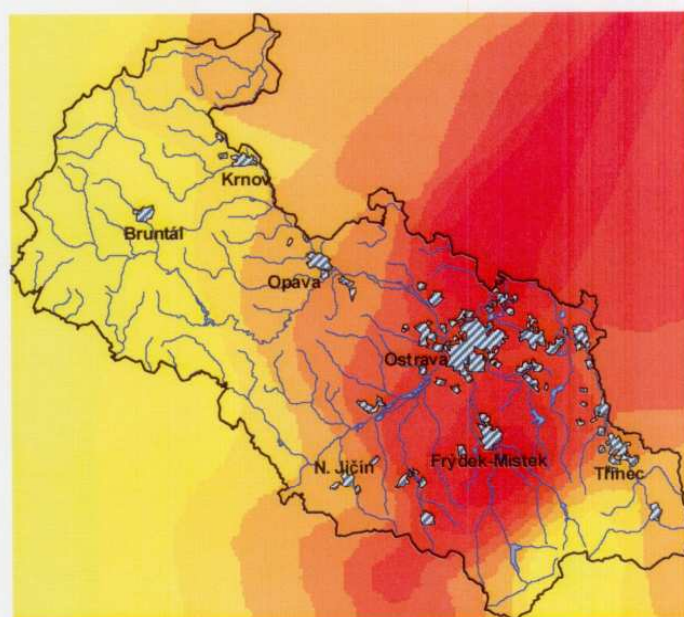
- Příloha 1 Rozložení hodnot tepelného toku na území Moravskoslezského kraje [26]
- Příloha 2 Mapa teplot na úrovni –200 m n.m. Moravskoslezského kraje [26]
- Příloha 3 Geologická mapa lokality Aula + CIT Ostrava – Poruba [9]
- Příloha 4 Modelový výpočet EED 2 Aula+CIT [autor]
- Příloha 5 Rozmístění vrtů [20]
- Příloha 6 Schéma zapojení kotelny [17]

## 17. Seznam použitých jednotek

$R_g$	globální záření ( $W.m^{-2}$ )
$k_a$	koeficient propustnosti atmosféry (1)
$E(\lambda_v)$	množství elektromagnetického záření o vlnové délce $\lambda_v$ ( $W.m^{-2}.s^{-1}$ )
$T$	teplota (K)
$\lambda_v$	vlnová délka (m)
$\lambda_{max}$	vlnová délka maxima vyzařování (m)
$I_*$	solární konstanta ( $W.m^{-2}$ )
$J$	intenzita přímého slunečního záření ( $W.m^{-2}$ )
$R_o$	střední vzdálenost Země od Slunce (m)
$R$	okamžitá vzdálenost Země od Slunce (m)
$\beta$	odchylka normály uvažované plochy od směru záření (úhlový stupeň)
$q$	hustota tepelného toku ( $W.m^{-2}$ )
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )
$c$	měrné teplo ( $J.kg^{-1}.K^{-1}$ )
$k$	tepelná kapacita ( $J.K^{-1}$ )
$c_{ob}$	objemové teplo ( $J.m^{-3}.K^{-1}$ )
$a$	teplotní vodivost ( $m^2.s^{-1}$ )
$COP$	topný faktor (1)
$P_{top}$	topný výkon tepelného čerpadla (kW)
$P_{el}$	elektrický výkon kompresoru (kW)
$P_{chlad}$	chladicí výkon kompresoru (kW)
$R_b$	tepelný (teplotní) odpor vrtu ( $K.W^{-1}.m^{-1}$ )

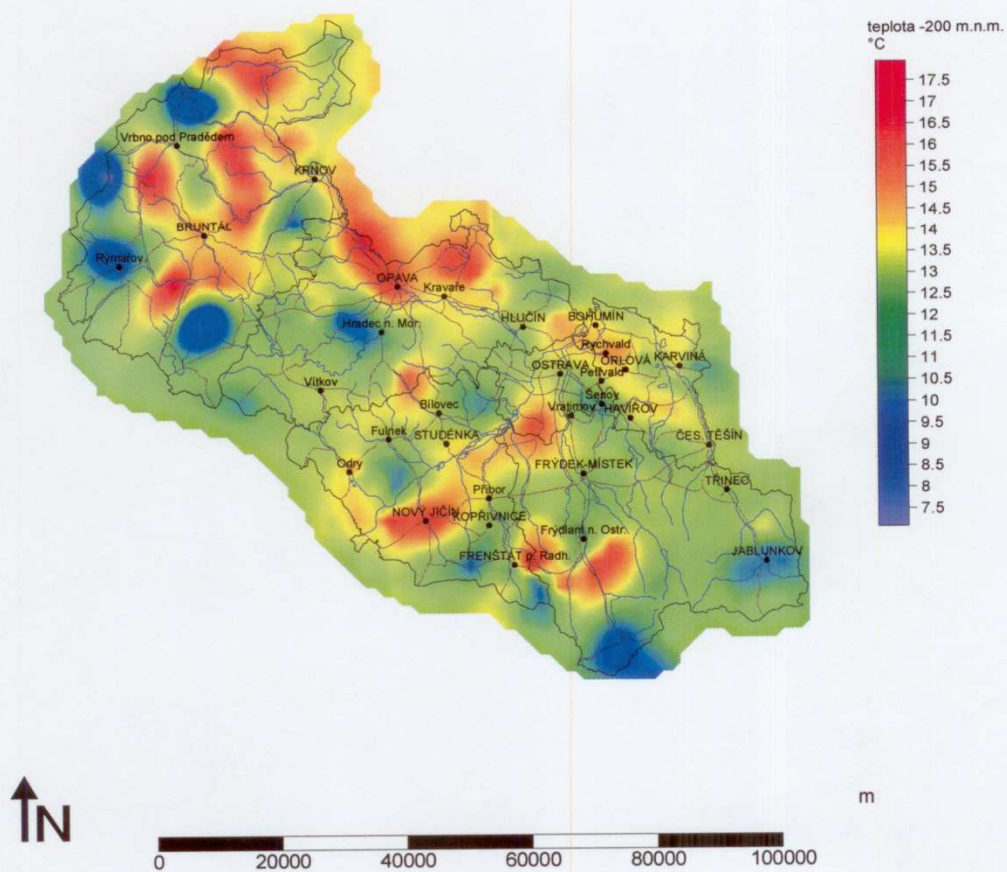
<b><math>q_s</math></b>	specifický tepelný tok ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ )
<b><math>T_f</math></b>	teplota teplonosné kapaliny (K)
<b><math>T_b</math></b>	teplota stěny vrtu (K)
<b><math>Q</math></b>	celkový tepelný výkon vrtu (W)
<b><math>H</math></b>	délka (hloubka) vrtu (m)
<b><math>c_p</math></b>	měrné teplo ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )
<b><math>\alpha</math></b>	tepelná difusivita ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )
<b><math>T_{\text{ug}}</math></b>	teplota masivu (K)
<b><math>r_b</math></b>	poloměr vrtu (m)
<b><math>t</math></b>	čas (s)
<b><math>T(t)</math></b>	teplota ve vzdálenosti $r_b$ od zdroje v čase $t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )

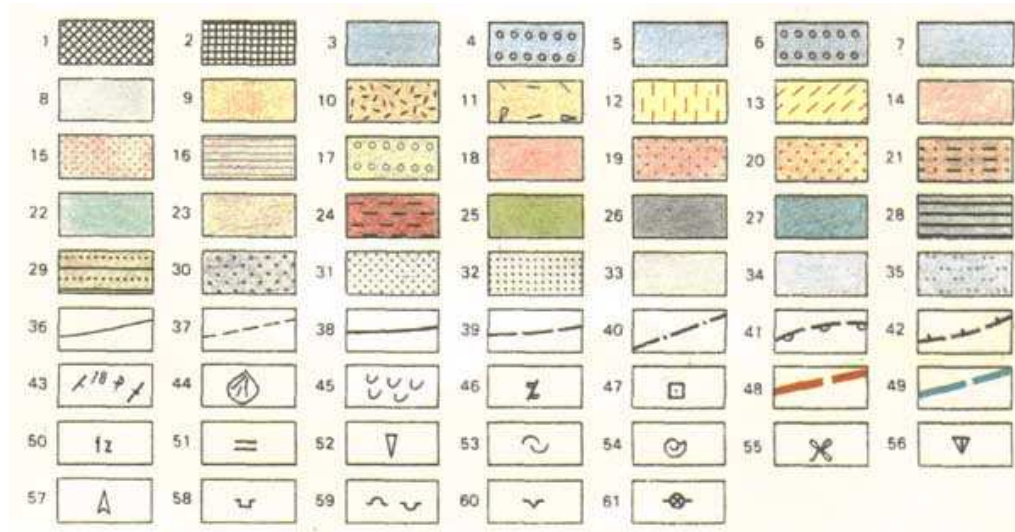
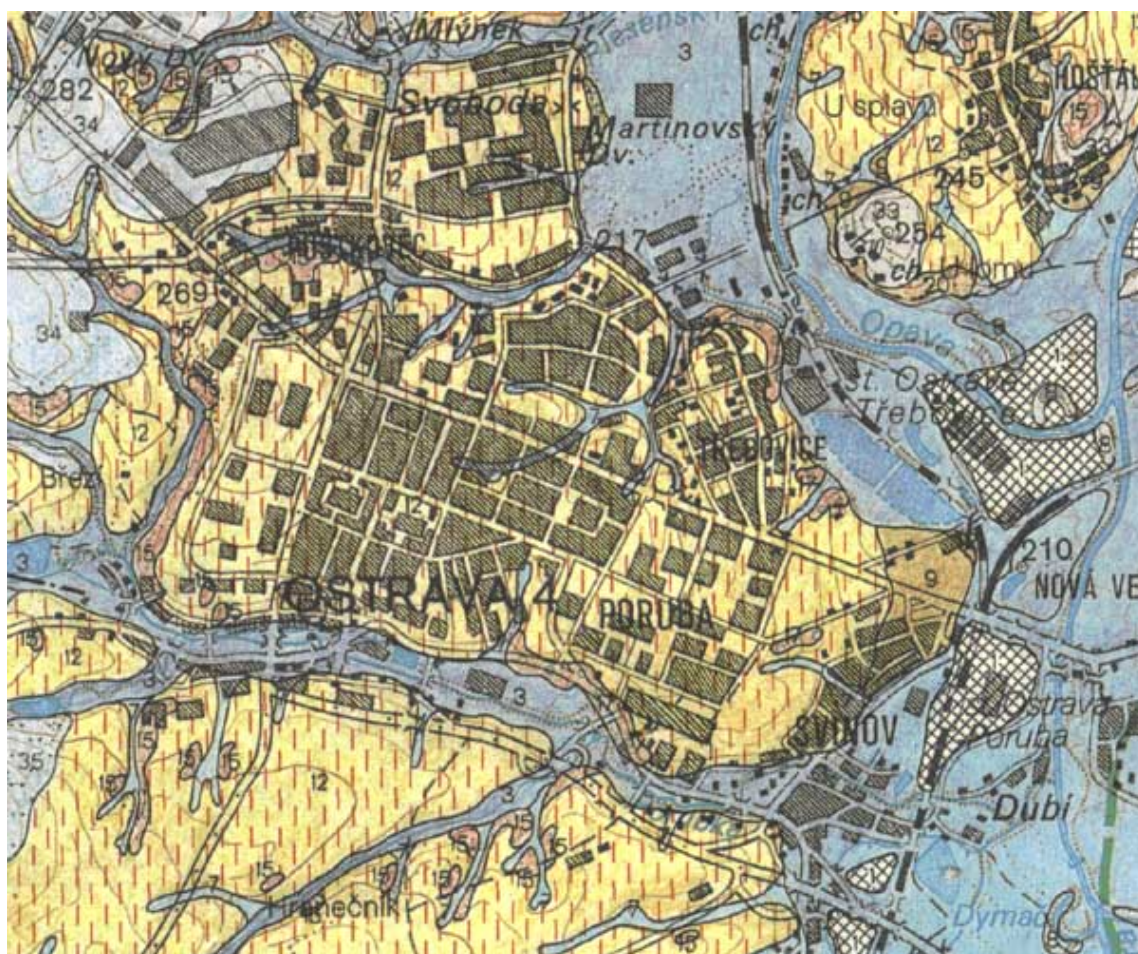
Obr. 4: Rozložení hodnot tepelného toku na území Moravskoslezského kraje





### Mapa teplot -200 m.n.m. moravskoslezského kraje







**KVARTÉR - holocén:** 1 - antropogenní uloženiny (navážky); 2 - antropogenní uloženiny (haldy); 3 - fluvialní převážně písčitohlinité sedimenty nižšího nivního stupně; 4 - fluvialní písčité štěrky nižšího nivního stupně; 5 - fluvialní převážně písčitohlinité sedimenty vyššího nivního stupně; 6 - fluvialní písčité štěrky vyššího nivního stupně; 7 - deluviofluvialní hlinité sedimenty; 8 - hnilokaly a slatinné zeminy; 9 - deluvialní převážně hlinité sedimenty;

**holocén - pleistocén:** 10 - deluvialní převážně kamenitohlinité sedimenty; 11 - deluvialní převážně kamenité sedimenty s bloky;

**pleistocén:** 12 - sprašové hlíny; 13 - deluvioeolické sedimenty; 14 - tilly (sálské zalednění s.s.); 15 - glacifluviální písky a písčité štěrky (sálského zalednění s.s.); 16 - glacilakustrinní převážně jílovité sedimenty (sálské zalednění s.s.); 17 - fluvialní písčité štěrky nečleněné hlavní terasy a 20 m terasy (svrchní elster až spodní saale); 18 - tilly (elsterské zalednění); 19 - glacifluviální písky a písčité štěrky (elsterské zalednění);

**Eluvia (převážně terciárního stáří):** 20 - převážně písčité eluvia hornin hradecko-kyjovského souvrství a ostravského souvrství;

**TERCIÉR - miocén vněkarpatské předhlubně:** 21 - mořské vápnité jily a písky (spodní baden, moryv); 22 - písky a jily (karpát);

**MEZOZOIKUM - TERCIÉR (vněkarpatské příkrovy): podslezská jednotka:**

23 - menilitové souvrství, tmavohnědé jily, jílovce, pískovce a rohovce (spodní oligocén-kiscel); 24 - třinecké souvrství (třinecké vrstvy s.s. a gutské vrstvy), jily, jílovce, písky a pískovce (senon až svrchní eocén); 25 - frýdecké vrstvy, šedé prachovce a pískovce (senon až paleocén);

**slezská jednotka, společné členy:** 26 - těšínsko-hradištské souvrství, drobně až středně rytmický flyš (berrias až spodní apt); 27 - vyvřeliny těšínské asociace, pikrit, diabas, těšínit; 28 - lhotické souvrství, šedé skvrnitě jílovce a pískovce, částečně s rohovci (alb); 29 - bašské vrstvy, jílovce a pískovce s rohovci (alb až senon);

**PALEOZOIKUM - svrchní karbon - ostravské souvrství (namur A):** 30 - porubské vrstvy, pískovce; 31 - jaklovecké vrstvy, prachovce a pískovce; 32 - hrušovské vrstvy, pískovce a jílovito-prachovité sedimenty; 33 - petřkovické vrstvy, pískovce, prachovce a jílovce (na bázi pozvolný přechod z kyjovických břidlic), namur A, spodní karbon (svrchní visé, zóna Go až báze namuru A); 34 - hradecko-kyjovické souvrství: střídání břidlic, prachovců a jemnozrnných drob; 35 - hradecko-kyjovické souvrství; drob;

36 - hranice stratigrafických jednotek a genetických typů sedimentů; 37 - pravděpodobná hranice stratigrafických jednotek; 38 - známý průběh zlomu; 39 - zlom předpokládaný; 40 - zlom zakrytý mladšími útvary; 41 - hranice karpatské příkrovové stavby; 42 - hranice mezi příkrovy; 43 - značka polohy vrstev; 44 - výplavový kužel; 45 - sesuv, sesuvné území; 46 - glaci tektonické zjevy; 47 - eratika severských hornin; 48 - předpokládaná hranice maximálního rozsahu sedimentů kontinentálního zalednění; 49 - předpokládaná hranice průběhu přehloubené subglaciální deprese; 50 - fosilní zvětralina; 51 - pohřbené fosilní půdy; 52 - mrazový klín; 53 - kryoturpace; 54 - fosilní malakofauna; 55 - fosilní flóra; 56 - paleolitická stanice (Landek); 57 - paleolitická industrie; 58 - opuštěný lom; 59 - hliniště (v provozu, opuštěné); 60 - opuštěná pískovna; 61 - opuštěná štěrkovna.

EED Version 2.0 (October 15, 2000), license for JIRI RYSKA, OKD, DPB  
 P. Eskilson, G. Hellstrom, J. Claesson, T. Blomberg, B. Sanner  
 Input file: C:\Documents and Settings\jiri\Documents\EED\PROJECTS\VSB\_Ostrava\_50B.dat  
 This output file: VSB\_OSTRAVA\_50B.OUT Date: 29.8.2005 Time: 11:32:14

Poznámka:

- výpočet proveden pro skupinu 24 vrtů, které pomocí tepelného čerpadla vyrobí 270,4 MWh/rok
- pro vystrojení zkušebních vrtů byla použita "klasická" injektážní směs (voda+bentonit+cement).

DESIGN DATA

=====

GROUND

Ground thermal conductivity	2.150 W/m,K
Ground heat capacity	2160000 J/m <sup>3</sup> ,K
Ground surface temperature	8.45 °C
Geothermal heat flux	0.0700 W/m <sup>2</sup>

BOREHOLE

Configuration:	24 : 4 x 6, rectangle
- g-function No.	264
Borehole depth	124.29 m
Borehole spacing	10.00 m
Borehole installation	SINGLE-U
Borehole diameter	0.120 m
U-pipe diameter	0.040 m
U-pipe thickness	0.0037 m
U-pipe thermal conductivity	0.420 W/m,K
U-pipe shank spacing	0.0700 m
Filling thermal conductivity	0.600 W/m,K
Contact resistance pipe/filling	0.0000 K/(W/m)

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. fluid/ground	0.1600 K/(W/m)
Borehole therm. res. internal	0.5000 K/(W/m)

Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity	0.440 W/m,K
Specific heat capacity	4250 J/kg,K
Density	960 kg/m <sup>3</sup>
Viscosity	0.007600 kg/m,s
Freezing point	-15.0 °C
Flow rate per borehole	0.000280 m <sup>3</sup> /s

BASE LOAD

Annual heating load	270.40 MWh
Annual cooling load	0.00 MWh

Seasonal performance factor (heating)	2.12
Seasonal performance factor (cooling)	2.00

Monthly energy profile

Month	Heat load	Cool load	(MWh)
JAN	0.1400	0.0000	
FEB	0.1300	0.0000	
MAR	0.1200	0.0000	
APR	0.0850	0.0000	
MAY	0.0500	0.0000	
JUN	0.0100	0.0000	
JUL	0.0050	0.0000	
AUG	0.0000	0.0000	
SEP	0.0950	0.0000	
OCT	0.1200	0.0000	
NOV	0.1200	0.0000	

DEC	0.1200	0.0000
-----		
Total	0.9950	0.0000

## PEAK LOAD

## Monthly peak powers (kW)

Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration
JAN	130.00	22.0	0.00	0.0
FEB	130.00	22.0	0.00	0.0
MAR	130.00	12.0	0.00	0.0
APR	130.00	6.0	0.00	0.0
MAY	0.00	0.0	0.00	0.0
JUN	0.00	0.0	0.00	0.0
JUL	0.00	0.0	0.00	0.0
AUG	0.00	0.0	0.00	0.0
SEP	0.00	0.0	0.00	0.0
OCT	130.00	6.0	0.00	0.0
NOV	130.00	12.0	0.00	0.0
DEC	130.00	22.0	0.00	0.0

Number of simulation years 50  
First month of operation SEP

## CALCULATED VALUES

=====

Total borehole length            2983.1 m

## THERMAL RESISTANCES

Effective borehole thermal res.    0.1679 K/(W/m)

## SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE (W/m)

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	9.18	23.02	-0.00
FEB	8.53	23.02	-0.00
MAR	7.87	23.02	-0.00
APR	5.58	23.02	-0.00
MAY	3.28	0.00	-0.00
JUN	0.66	0.00	-0.00
JUL	0.33	0.00	-0.00
AUG	0.00	0.00	-0.00
SEP	6.23	0.00	-0.00
OCT	7.87	23.02	-0.00
NOV	7.87	23.02	-0.00
DEC	7.87	23.02	-0.00

## BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.47	5.80	4.21	2.74	-0.65
FEB	10.47	5.95	4.36	2.89	-0.48
MAR	10.47	6.14	4.55	3.09	-0.26
APR	10.47	7.08	5.50	4.05	0.71
MAY	10.47	8.08	6.52	5.08	1.76
JUN	10.47	9.28	7.76	6.33	3.03
JUL	10.47	9.52	8.05	6.64	3.35
AUG	10.47	9.74	8.33	6.93	3.65
SEP	7.72	7.03	5.67	4.29	1.03
OCT	6.81	6.14	4.81	3.44	0.20
NOV	6.64	5.98	4.66	3.31	0.08
DEC	6.51	5.85	4.54	3.21	-0.01

## BASE LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature    -0.65 °C    at end of JAN  
Maximum mean fluid temperature    3.65 °C    at end of AUG

## PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.47	1.48	-0.11	-1.58	-4.97
FEB	10.47	1.43	-0.17	-1.63	-5.00
MAR	10.47	1.76	0.16	-1.29	-4.65
APR	10.47	2.48	0.89	-0.56	-3.89
MAY	10.47	8.08	6.52	5.08	1.76
JUN	10.47	9.28	7.76	6.33	3.03
JUL	10.47	9.52	8.05	6.64	3.35
AUG	10.47	9.74	8.33	6.93	3.65
SEP	7.72	7.03	5.67	4.29	1.03
OCT	2.81	2.14	0.81	-0.55	-3.80
NOV	2.25	1.59	0.27	-1.08	-4.31
DEC	1.78	1.12	-0.19	-1.52	-4.74

## PEAK HEAT LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature -5.00 °C at end of FEB  
Maximum mean fluid temperature 3.65 °C at end of AUG

## PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.47	5.80	4.21	2.74	-0.65
FEB	10.47	5.95	4.36	2.89	-0.48
MAR	10.47	6.14	4.55	3.09	-0.26
APR	10.47	7.08	5.50	4.05	0.71
MAY	10.47	8.08	6.52	5.08	1.76
JUN	10.47	9.28	7.76	6.33	3.03
JUL	10.47	9.52	8.05	6.64	3.35
AUG	10.47	9.74	8.33	6.93	3.65
SEP	7.72	7.03	5.67	4.29	1.03
OCT	6.81	6.14	4.81	3.44	0.20
NOV	6.64	5.98	4.66	3.31	0.08
DEC	6.51	5.85	4.54	3.21	-0.01

## PEAK COOL LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature -0.65 °C at end of JAN  
Maximum mean fluid temperature 3.65 °C at end of AUG

\*\*\*\*\* END OF FILE \*\*\*\*\*

EED Version 2.0 (October 15, 2000), license for JIRI RYSKA, OKD, DPB  
 P. Eskilson, G. Hellstrom, J. Claesson, T. Blomberg, B. Sanner  
 Input file: C:\Documents and Settings\jiri\Documents\EED\PROJECTS\VSB\_Ostrava\_50.dat  
 This output file: VSB\_OSTRAVA\_50.OUT Date: 29.8.2005 Time: 11:27:15

Poznámka:

- výpočet proveden pro skupinu 24 vrtů, které pomocí tepelného čerpadla vyrobí 270,4 MWh/rok
- pro vystrojení zkušebních vrtů byla použita injektážní směs s křemitým pískem

DESIGN DATA  
 =====

GROUND

Ground thermal conductivity 2.150 W/m,K  
 Ground heat capacity 2160000 J/m<sup>3</sup>,K  
 Ground surface temperature 8.45 °C  
 Geothermal heat flux 0.0700 W/m<sup>2</sup>

BOREHOLE

Configuration: 24 : 4 x 6, rectangle  
 - g-function No. 264  
 Borehole depth 116.24 m  
 Borehole spacing 10.00 m  
 Borehole installation SINGLE-U  
 Borehole diameter 0.120 m  
 U-pipe diameter 0.040 m  
 U-pipe thickness 0.0037 m  
 U-pipe thermal conductivity 0.420 W/m,K  
 U-pipe shank spacing 0.0700 m  
 Filling thermal conductivity 0.600 W/m,K  
 Contact resistance pipe/filling 0.0000 K/(W/m)

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. fluid/ground 0.1200 K/(W/m)  
 Borehole therm. res. internal 0.5000 K/(W/m)  
 Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity 0.440 W/m,K  
 Specific heat capacity 4250 J/kg,K  
 Density 960 kg/m<sup>3</sup>  
 Viscosity 0.007600 kg/m,s  
 Freezing point -15.0 °C  
 Flow rate per borehole 0.000280 m<sup>3</sup>/s

BASE LOAD

Annual heating load 270.40 MWh  
 Annual cooling load 0.00 MWh

Seasonal performance factor (heating) 2.12  
 Seasonal performance factor (cooling) 2.00

Monthly energy profile

Month	Heat load	Cool load	(MWh)
JAN	0.1400	0.0000	
FEB	0.1300	0.0000	
MAR	0.1200	0.0000	
APR	0.0850	0.0000	
MAY	0.0500	0.0000	
JUN	0.0100	0.0000	
JUL	0.0050	0.0000	
AUG	0.0000	0.0000	
SEP	0.0950	0.0000	
OCT	0.1200	0.0000	
NOV	0.1200	0.0000	
DEC	0.1200	0.0000	

-----  
 Total 0.9950 0.0000

## PEAK LOAD

## Monthly peak powers (kW)

Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration
JAN	130.00	22.0	0.00	0.0
FEB	130.00	22.0	0.00	0.0
MAR	130.00	12.0	0.00	0.0
APR	130.00	6.0	0.00	0.0
MAY	0.00	0.0	0.00	0.0
JUN	0.00	0.0	0.00	0.0
JUL	0.00	0.0	0.00	0.0
AUG	0.00	0.0	0.00	0.0
SEP	0.00	0.0	0.00	0.0
OCT	130.00	6.0	0.00	0.0
NOV	130.00	12.0	0.00	0.0
DEC	130.00	22.0	0.00	0.0

Number of simulation years 50

First month of operation SEP

## CALCULATED VALUES

=====

Total borehole length 2789.9 m

## THERMAL RESISTANCES

Effective borehole thermal res. 0.1269 K/(W/m)

## SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE (W/m)

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	9.82	24.62	-0.00
FEB	9.12	24.62	-0.00
MAR	8.42	24.62	-0.00
APR	5.96	24.62	-0.00
MAY	3.51	0.00	-0.00
JUN	0.70	0.00	-0.00
JUL	0.35	0.00	-0.00
AUG	0.00	0.00	-0.00
SEP	6.66	0.00	-0.00
OCT	8.42	24.62	-0.00
NOV	8.42	24.62	-0.00
DEC	8.42	24.62	-0.00

## BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.34	5.77	4.04	2.48	-0.99
FEB	10.34	5.91	4.20	2.66	-0.79
MAR	10.34	6.09	4.42	2.90	-0.54
APR	10.34	7.00	5.38	3.87	0.45
MAY	10.34	7.98	6.42	4.92	1.52
JUN	10.34	9.16	7.64	6.16	2.77
JUL	10.34	9.40	7.91	6.44	3.07
AUG	10.34	9.58	8.11	6.65	3.30
SEP	7.67	6.93	5.47	4.03	0.69
OCT	6.77	6.06	4.60	3.17	-0.15
NOV	6.60	5.89	4.44	3.03	-0.27
DEC	6.45	5.75	4.30	2.91	-0.38

## BASE LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature -0.99 °C at end of JAN  
 Maximum mean fluid temperature 3.30 °C at end of AUG

## PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)



Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.34	1.75	0.03	-1.53	-5.00
FEB	10.34	1.71	0.00	-1.54	-4.99
MAR	10.34	2.06	0.39	-1.13	-4.57
APR	10.34	2.84	1.22	-0.29	-3.71
MAY	10.34	7.98	6.42	4.92	1.52
JUN	10.34	9.16	7.64	6.16	2.77
JUL	10.34	9.40	7.91	6.44	3.07
AUG	10.34	9.58	8.11	6.65	3.30
SEP	7.67	6.93	5.47	4.03	0.69
OCT	3.16	2.44	0.99	-0.44	-3.76
NOV	2.57	1.86	0.41	-0.99	-4.30
DEC	2.06	1.35	-0.09	-1.48	-4.77

## PEAK HEAT LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature -5.00 °C at end of JAN  
Maximum mean fluid temperature 3.30 °C at end of AUG

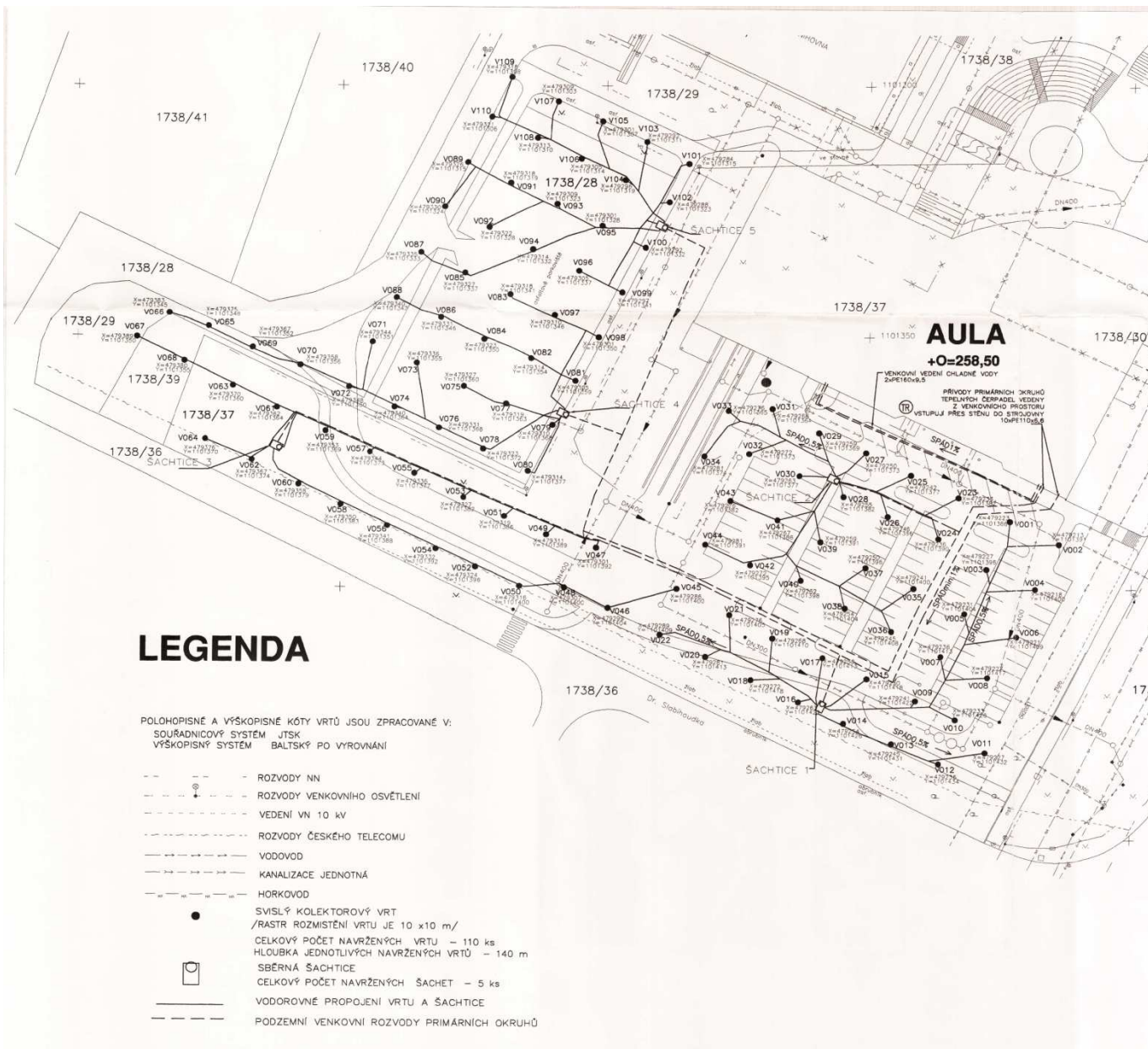
## PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 50
JAN	10.34	5.77	4.04	2.48	-0.99
FEB	10.34	5.91	4.20	2.66	-0.79
MAR	10.34	6.09	4.42	2.90	-0.54
APR	10.34	7.00	5.38	3.87	0.45
MAY	10.34	7.98	6.42	4.92	1.52
JUN	10.34	9.16	7.64	6.16	2.77
JUL	10.34	9.40	7.91	6.44	3.07
AUG	10.34	9.58	8.11	6.65	3.30
SEP	7.67	6.93	5.47	4.03	0.69
OCT	6.77	6.06	4.60	3.17	-0.15
NOV	6.60	5.89	4.44	3.03	-0.27
DEC	6.45	5.75	4.30	2.91	-0.38

## PEAK COOL LOAD: YEAR 50

Minimum mean fluid temperature -0.99 °C at end of JAN  
Maximum mean fluid temperature 3.30 °C at end of AUG

\*\*\*\*\* END OF FILE \*\*\*\*\*



topný výkon tepelných čerpadel 10 x 70kW

